



游顶云, 博士, 研究员, 博士研究生导师, 现任昆明医科大学公共卫生学院副院长。昆明医科大学省优青获得者、昆明医科大学“百名中青年学术和技术骨干”、云南省中青年学术技术带头人后备人选(流行病学)、云南省高层次卫生计生技术人才培养对象(流行病学), 云南省科技创新团队带头人; 任中华医学会临床流行病学与循证医学青年委员等职。近5年以第1作者或通讯作者在 Science Bulletin、BMC Med、EBioMedicine、JAMA network open 等国外高水平期刊发表SCI论文30余篇, 主编著作《实用临床流行病学》。主持国家自然科学基金项目3项、云南省重大科技专项1项、云南省应用基础研究重点项目1项, 多年来一直致力与多学科开展合作, 主要围绕肿瘤预后和早产开展预测和因果推断研究。

## 熵、耗散结构与健康

段思凡, 刘孟美, 李亚旒, 游顶云

(昆明医科大学云南省公共卫生与生物安全重点实验室 & 公共卫生学院, 云南 昆明 650500)

**[摘要]** 耗散结构是远离平衡态的非线性自组织有序结构, 人体作为经典的耗散结构, 通过与外界进行物质、能量、信息的充分交换产生负熵对抗“熵增”。系统梳理基于耗散结构与熵的理论和相关研究, 探讨耗散结构理论对机体调节、癌症、衰老等的意义。选取孕产妇这一特殊人群, 聚焦信息维度, 开发了相应信息交换量表(Cronbach's  $\alpha > 0.9$ )并提出信息交换指数, 初步探索耗散结构信息维度对孕期健康的影响, 结果显示信息交换指数与孕期焦虑分数负相关( $r = -0.35$ ,  $P < 0.001$ ), OR值为0.26(95%CI: 0.08~0.80), 初步证实了基于耗散结构理论开展实证研究的可行性。若能进一步开展相关实证研究, 有望开发新的疾病预防策略, 为公共卫生领域提供新理论和新方法。

**[关键词]** 耗散结构; 熵; 健康; 信息交换

**[中图分类号]** R193 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095-610X(2024)03-0001-06

## Entropy, Dissipative Structure And Health

DUAN Sifan, LIU Mengmei, LI Yani, YOU Dingyun

(Yunnan Key Laboratory of Public Health and Biosafety & School of Public Health, Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650500, China)

**[Abstract]** Dissipative structure refers to a self-organized and orderly structure that exists far from equilibrium. The human body, considered a classical example, generates negative entropy through the exchange of matter, energy, and information with the environment to counteract the increase in entropy. In this paper, we organized theories and related research on dissipative structure and entropy, discussing their significance in regulating various aspects such as the human body, cancer, aging, and more. By selecting the special population of pregnant women, focusing on the information dimension, developing the corresponding information exchange scale (Cronbach's  $\alpha > 0.9$ ), and proposing the information exchange index, we preliminarily explored the influence of the dissipative structure's information dimension on pregnancy health. The results showed a negative correlation between the information exchange index and anxiety scores during pregnancy ( $r = -0.35$ ,  $P < 0.001$ ), with an OR value of 0.26 (95%CI: 0.08~0.80), preliminarily confirming the feasibility of conducting empirical

**[收稿日期]** 2024-03-14

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目(82073569); 云南省科技创新团队(202405AS350016); 云南省应用基础研究重点项目(202101AS070040); 中青年学术技术带头人后备人才项目(202005AC160023)

**[作者简介]** 段思凡(1999~), 女, 云南昆明人, 在读硕士研究生, 主要从事孕产妇围产期健康相关研究工作。

**[通信作者]** 游顶云, E-mail: youdingyun@kmmu.edu.cn

research based on dissipative structure theory. If further relevant empirical studies are conducted, it is expected that new disease prevention strategies will be developed and new theories and methods will be provided for the field of public health.

[**Key words**] Dissipative structure; Entropy; Health; Information exchange

1865年,德国物理学家克劳修斯首次定义了熵,熵是热力学第二定律的阐释,简单来说就是系统的熵总是在增加,并最终达到熵最大的状态(即热力学平衡)<sup>[1]</sup>。1972年,玻尔兹曼进行了熵的微观解释,即熵表示系统的混乱程度,熵越大越无序,熵越小越有序<sup>[2]</sup>。一个孤立系统若总是向无序、混乱的方向发展则会导致毁灭,即为熵增原理<sup>[2]</sup>。对于人体来说,不断熵增的结局就是生命的结束。1969年,普里高津为了强调开放系统中的非平衡自组织需要能量耗散提出“耗散结构”,即远离平衡态的非线性自组织有序结构<sup>[3-4]</sup>,构成耗散结构需要符合4个条件,一是开放系统;二是远离热力学平衡态;三是非线性作用;四是涨落作用<sup>[3-5]</sup>,耗散结构能够对抗熵增成为共识。

著名的理论物理学家薛定谔(E·Schrodinger 1887—1961)认为“生命以负熵为食”,他在前人把新陈代谢解释为物质、能量交换的基础上,参照热力学定律引入了“负熵”的概念,并提出生命物质、能量代谢的实质就是通过“入”和“出”的交换从环境中摄取负熵。人体作为一个兼具生物和社会属性的典型开放系统,通过与外界进行物质、能量、信息的充分交换输入负熵进而对抗“熵增”<sup>[4, 6-7]</sup>,维持身体的健康状态。因此人体是一个复杂庞大的耗散结构,由许多子系统组成,如人体的各个器官协同有序地完成生命活动。目前耗散结构理论已经成为公认的横跨自然科学和社会科学的理论工具<sup>[5]</sup>,本综述尝试对耗散结构理论与人类健康开展的理论及实证研究进行系统梳理,展望并尝试其在健康领域的应用。

## 1 人体机体调节中的耗散结构

耗散结构普遍存在于生物系统中,是所有生物的共有特征<sup>[8]</sup>,人体跳动的心脏、大脑都被认为是了不起的耗散结构<sup>[5]</sup>,同时从神经、心脏和代谢振荡到生物钟和细胞周期,生物组织的各个层面都存在的节律提供了生物系统中最丰富的耗散结构实例<sup>[3]</sup>。何萍芬等<sup>[5]</sup>研究认为人体通过输入负熵,输出正熵,保持高度有序的健康状态。例如人体从外界环境摄入淀粉、O<sub>2</sub>相当于输入负熵,通过氧化反应后向环境输出CO<sub>2</sub>等小分子和

热能,即正熵,从而实现人体熵降低,环境熵增加的有序状态。然而内部能量转换过程的中断和与环境的能量交换的终止会导致耗散结构的退化,并将其还原为无生命物质(如水、气体或固体),即生命迎来终止<sup>[8]</sup>。张岱等<sup>[9]</sup>在研究机体调节时提出人体“有序-无序-有序”的调节过程是机体调节的基本模式,当内外因素的影响使机体耗散结构功能出现障碍,负熵减少,无序度增大,即出现熵增时,机体便会出现疾病状态。熵增是人类健康恶化和衰老进程加速的根源,人类天生就具备由自组织、自我防御、自我修复和防磨损系统组成的低熵防护机制<sup>[10]</sup>。同时,由于人体是认知系统,必须考虑信息熵的产生<sup>[11]</sup>,大脑作为人体处理各类信息的开放系统,脑与外界不仅需要物质能量的交换,而且必须进行信息的交流,遵循以信息为主导的“信息、能量、物质”三维耗散结构<sup>[7, 12]</sup>,已有证据表明教育与成年人全因死亡风险呈现剂量依赖关系,18~49岁者每多读1 a书,死亡风险平均降低2.9%<sup>[13]</sup>,不难看出通过学习能够达到机体与环境的信息充分交换。

综上,耗散结构与生命健康息息相关,基于耗散结构笔者认为人体维持健康是通过“物质-能量-信息”3条通路与外界环境进行充分交换,如通过饮食、运动、学习、工作、社交等方式从环境中不断输入负熵,经过人体充分交换后以排泄(粪便、尿液、汗液等)、学习工作成果汇报、建立社交圈等方式向环境中输出正熵,维持人体的低熵状态,见图1。

## 2 耗散结构理论与疾病、衰老等生命现象的研究现状

人体是一个经典的耗散结构,人体的生命活动如生老病死,在耗散结构理论体系内能够得到较好的解释。耗散结构起源于热力学领域,目前在人体健康与疾病方面的研究尚且局限,笔者尝试梳理了相关理论及实证研究(表1),主要集中在中医疾病治疗、肿瘤、衰老等方面的探讨,且实证研究极少。耗散结构理论中开放系统的负熵化机制与中医对疾病本质的认识高度一致<sup>[14]</sup>,从耗散结构理论出发能够为中医临床诊疗、中西医

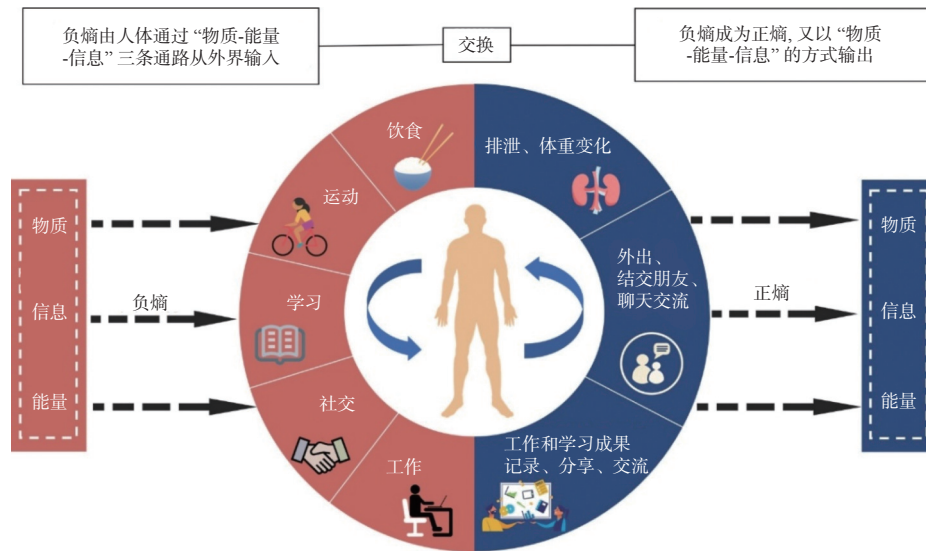


图 1 耗散结构与健康关联示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dissipative structure and health association

表 1 耗散结构与生命现象(疾病、衰老等)相关研究梳理

Tab. 1 A compendium of research related to dissipative structures and life phenomena (disease, aging, etc.)

学者	主要观点
张海蓉等 <sup>[14]</sup>	人是典型的耗散结构, 生命以负熵为食, 而玄府是维持人体耗散结构的关键, 透玄排熵是治疗熵病的基本原则。
张宇叶等 <sup>[16]</sup>	慢性疲劳综合征的病因机制与耗散结构理论极其吻合, 从耗散结构出发可为该病的进一步探索寻求突破。
蔡振刚 <sup>[17]</sup>	基于耗散结构, 以中西医结合的方式恢复机体有序性, 进行熵的量化有望推进乳腺癌远期的复发和转移的精准化治疗。
牛爱琴等 <sup>[18]</sup>	人体是一个开放复杂的耗散结构。人体肿瘤(如妇科肿瘤)形成的原因在于环境因素(正熵的输入)导致基因发生突变产生不利于进化的表达。
崔珈铭等 <sup>[19]</sup>	疾病发生必然伴随系统耗散和熵失衡, 耗散结构和熵理论能够很好地解释眩晕现象及其机理并为临床诊疗提供参考。
Klimek R <sup>[20]</sup>	生物体的耗散状态是肿瘤发生的唯一常见原因, 而肿瘤是一种自组织的生物耗散结构, 因此肿瘤的治疗和预防应该关注环境。
Sabater B <sup>[21]</sup>	肿瘤细胞常常在没有分化的情况下偏离有序发育, 因此肿瘤组织具有高熵。
Banerji C R等 <sup>[15]</sup>	在乳腺癌和肺癌主要亚型当中, 高熵肿瘤相较于低熵肿瘤的危险率翻了一番。
吴伟光 <sup>[22]</sup>	肿瘤在人体内的发生与扩散, 打破了人体熵平衡循环状态, 使人体熵值增加, 熵增速率升高, 生命周期缩短。
赵明蕊等 <sup>[23-24]</sup>	人体衰老是必经过程, 由于人体功能的衰退使机体与环境负熵的交换效能降低, 使体内熵长期缓慢的增加, 导致衰老。
Vallée A等 <sup>[25]</sup>	阿尔兹海默症作为一种神经退行性疾病也被视为一种耗散结构, 与周围环境交换能量、物质和信息效能降低, 其异常的代谢和热力学失衡会导致熵增。
Zhang W等 <sup>[1]</sup>	心理系统(思维)作为耗散结构, 与外部和内部世界交换信息。当启用心理防御机制时, 通过获得心理负熵或耗散自我呈现的能量来保持个体稳定和有序。

结合提供新的思路。同时耗散结构理论能够从宏观角度解释肿瘤的发生和人类衰老的本质, 熵可以被定量, 如肿瘤信号熵值可以被定量作为预后指标<sup>[15]</sup>, 或许从熵产生角度出发干预患者的生活方式, 能够为肿瘤及其他疾病的治疗、人体健康的恢复提供新的思路。然而前人基于耗散结构理论的研究绝大多数都停留在理论和逻辑推理上对所研究疾病或生命现象进行解释, 很少有人依据

耗散结构进行实证研究。

### 3 基于耗散结构理论对信息交换的初探

#### 3.1 耗散结构理论中“物质、能量、信息”交换的间接流行病学证据

人体作为一个典型的耗散结构, 需要与外界环境进行“物质、能量、信息”的充分交换, 输

入负熵,维持身体的健康状态。虽然基于耗散结构的医学研究罕见报道,但现有大量流行病学证据间接证明了该理论的正确性和可验证性。众所周知,适度运动、健康饮食等物质、能量代谢过程有益于人体健康,能够改善心脑血管功能和新陈代谢。已有证据表明每天 15 min 或每周 90 min 的中等强度运动能够降低全因死亡率,延长预期寿命<sup>[26]</sup>;针对老年人记忆力下降和健康问题,健康饮食、主动的认知活动、主动社交以及规律的体育锻炼均有积极的影响<sup>[27-28]</sup>;通过生活方式及日常运动的干预,能够对中度至重度抑郁症和焦虑症以及其他疾病提供相当大的益处<sup>[29]</sup>,同时运动对大脑有保护作用,对神经发育和记忆有积极影响<sup>[30]</sup>。饮食与心理健康和压力有相互作用,在一定程度上健康的饮食可以改善精神障碍患者的精神状态<sup>[31-32]</sup>,同时饮食是预防与年龄有关的疾病和在衰老过程中保持整体健康状况的可改变因素之一<sup>[33]</sup>。

### 3.2 耗散结构理论中信息交换值得重点关注

综上笔者推测人体作为一个耗散结构,能够通过合适的运动积极与环境进行能量、物质的充分交换(如呼吸、流汗、外出运动产生的互动交流等),通过健康的饮食,摄入食物(水分、营养素等)经过体内充分交换之后将体内的高熵排出(尿液、粪便),从而对抗熵增。但是如同以上研究,人们常常关注物质和能量,而忽略了信息交换的重要性,“信息交换”作为一个较易被干预的维度值得重点关注。人的本质是社会关系的总和<sup>[34]</sup>,社会关系即属于信息维度。日常的工作、学习等作为信息交换的主要载体,在现代社会中扮演着至关重要的角色,对于个人成长和社会进步都有着深远的影响。学习与健康方面,一项使用日本最新的全国性调查数据显示,高教育水平与更好的健康相关行为或状态相关<sup>[35]</sup>;此外受教育程度对心血管健康具有保护作用<sup>[36]</sup>。工作与健康方面,有研究显示新冠肺炎疫情期间,80.6%的医疗保健专业人员报告了心理困扰,但其工作参与度越高,其心理困扰程度越低<sup>[37]</sup>;2018年日本的一项研究显示,护士为促进自我发展而自愿加班对幸福感具有积极影响<sup>[38]</sup>,以上研究同样也间接证明了信息交换对人体健康有重要意义。

### 3.3 基于耗散结构对孕产妇人群信息交换的初步实证研究

目前尚没有研究利用该理论对人体的日常信息交换活动进行实证研究从而量化评估人体的健康状态。为了初步探索信息交换度对健康的影响

程度,笔者基于耗散结构理论“信息充分交换可对抗熵增”这一论断尝试开发信息交换量表,并提出“信息交换指数”进行量化。由于孕产妇面临激素水平的剧烈变化以及生活行为方式和工作环境的改变,使该人群成为一个相对脆弱人群,因此笔者选择孕产妇作为调查对象。笔者猜想孕产妇在怀孕及产后之所以面临多种疾病的威胁,可能与“信息充分交换”的下降相关,基于此假设,开发了孕期信息交换量表(Cronbach's  $\alpha > 0.9$ )并进行了预调查。调查结果显示“信息交换指数”与焦虑和体重明显相关,信息交换指数与孕期焦虑分数呈负相关( $r = -0.35, P < 0.001$ , 图 2)。与焦虑的 OR 值可达 0.26 (95% CI: 0.08 ~ 0.80) (表 2),人群归因危险度达到 32.67%。同时还利用了团队前期 1475 份的孕产妇队列数据,分析了社交回避及苦恼量表(Social Avoidance and Distress Scale, SADS)和社会支持评定量表(Social Support Rating Scale, SSRS)与孕期焦虑之间的关联性,结果表明初步开发的信息交换指数与焦虑相关性要强于这 2 个成熟量表(图 3),进一步佐证了信息交换指数的重要性及初步开发的信息交换量表的信效度。

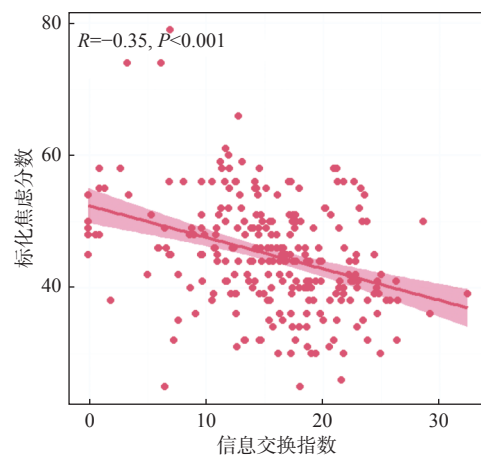


图 2 信息交换指数与孕期焦虑的相关关系

Fig. 2 Correlation between the information exchange index and anxiety during pregnancy

## 4 小结

耗散结构是对抗熵增的有利方式。人体通过与环境进行熵的输入和输出,维持一个非线性的熵平衡状态。本综述基于耗散结构从宏观角度探讨了机体调节模式,将耗散结构理论与健康相关联,“物质-信息-能量”是人体实现耗散结构的 3 条通路。通过梳理前人基于耗散结构开展的与

表 2 信息交换指数与孕期焦虑的单因素多因素分析

Tab. 2 Information exchange index and univariate-multivariate analysis of prenatal anxiety

变量	Model 1	Model 2	Model 3
	OR (95%CI)	OR (95%CI)	OR (95%CI)
信息交换指数per (SD)	0.94 (0.91 ~ 0.98)***	0.94 (0.90 ~ 0.98) **	0.94 (0.89 ~ 0.99) **
信息交换指数分组			
< 10	Ref	Ref	Ref
10 ~ 20	0.79 (0.33 ~ 1.93)	0.66 (0.27 ~ 1.67)	0.67 (0.22 ~ 2.03)
≥20	0.27 (0.11 ~ 0.67) **	0.25 (0.10 ~ 0.64) **	0.26 (0.08 ~ 0.80) *

\*Model 1为单因素Logistic回归模型, Model 2校正了年龄, BMI, 孕周, 居住地, 民族; Model 3校正了Model 2以及文化程度, 婚姻状况, 家庭年收入, 职业, 怀孕次数, 本次受孕方式, 宫内胎儿数目, 孕前健康状况, 是否无人照顾, 孕早期吸烟, 二手烟, 吸烟史, 饮酒史, 劳动强度, 每天的锻炼时间; OR: 比值比; \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ 。

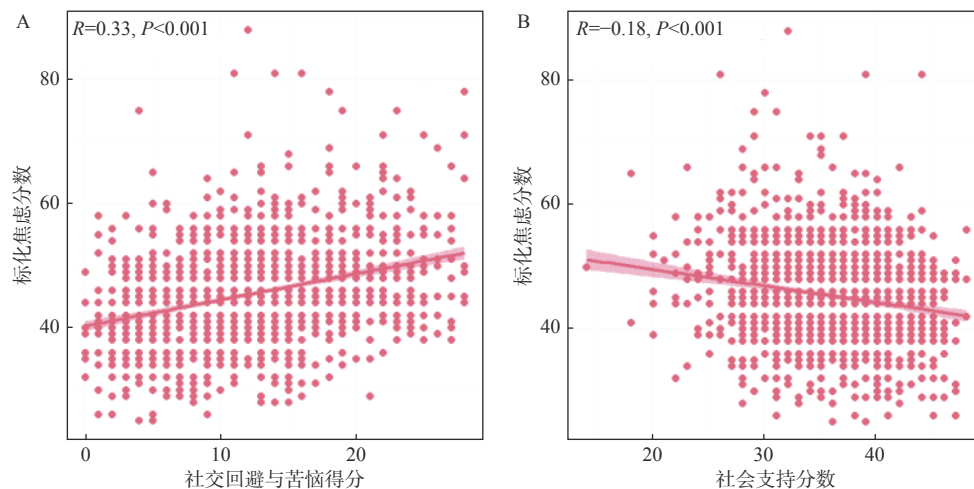


图 3 社交回避与苦恼(A)、社会支持(B)与孕期焦虑的相关关系

Fig. 3 Correlation of social avoidance and distress (A), social support(B), and anxiety during pregnancy

人体生命现象相关的理论研究, 发现或许耗散结构理论能够成为如癌症、衰老及其他一些疾病治疗的突破口。再有, 基于耗散结构“物质-信息-能量”的3条途径, 物质和能量有大量间接证据, 而信息维度的佐证相对较少。因此笔者针对孕产妇人群信息交换进行了初步探索, 结果也表明信息交换度越高, 孕期焦虑患病风险则越低。若基于耗散结构开展实证研究, 有望提出新的疾病预防策略, 打破以往预防医学研究范式, 提供全新的视角和理论方法。

最后, 耗散结构与人类的生命息息相关, 在当前医学研究百花齐放的时期, 基于耗散结构理论开展实证研究能够从生命整体出发, 量化人体日常生活产生的负熵, 将以往的运动、饮食、心理、社交等提升到物质、能量和信息维度, 进一步阐释影响人体健康的各种因素, 提升人类对于疾病本质的认识。而这一目标的实现, 需要大量有着相同研究志趣科研人员的共同努力, 笔者也期待这一天的早日到来。

## [参考文献]

- [1] Zhang W, Guo B Y. Resolving defence mechanisms: A perspective based on dissipative structure theory[J]. *Int J Psychoanal*, 2017, 98(2): 457-472.
- [2] 孙艳芬, 易小林, 孟燕军. 人体与熵[J]. *医学理论与实践*, 2004, 17(3): 249-250.
- [3] Goldbeter A. Dissipative structures in biological systems: bistability, oscillations, spatial patterns and waves[J]. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 2018, 376(2124): 20170376.
- [4] Prigogine I. Structure, dissipation and life[C]//*Physique théorique et biologie* (ed Marois), Amsterdam: North-Holland, 1969: 23-52.
- [5] 何萍芬, 岳小欣, 张长辉. 耗散结构理论及其在医学上的应用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11(39): 7999-8001.
- [6] Prigogine I, Nicolis G. Biological order, structure and instabilities[J]. *Q Rev Biophys*, 1971, 4(2-3): 107-148.

- [7] 吴祖仁, 吴江滨, 张增常, 等. 脑功能发育发展的动力学机制及其重要意义[J]. *湖北文理学院学报*, 2017, 38(8): 73-78.
- [8] Chuprin V, Mihajlovic W. Three layer functional model and energy exchange concept of aging process[J]. *Age (Dordr)*, 2006, 28(1): 111-121.
- [9] 张岱, 金宝荣. 耗散结构与人体的熵变[C]//中国生物医学工程学会医学物理分会第十次学术年会、中华医学会医学工程学会第一次医疗设备科学管理研讨会论文集, 中国北京, 1998: 118.
- [10] Wang Z G. The entropy perspective on human illness and aging[J]. *Engineering*, 2022, 9(2): 22-26.
- [11] Seely A J. Optimizing our patients' entropy production as therapy? Hypotheses originating from the physics of physiology[J]. *Entropy*, 2020, 22(10): 1095.
- [12] 吴江滨, 吴祖仁, 陈培杰, 等. 开发教育的脑科学理论基础[J]. *湖北文理学院学报*, 2017, 38(8): 79-84,88.
- [13] Collaborators IHME-CHAIN. Effects of education on adult mortality: A global systematic review and meta-analysis[J]. *Lancet Public Health*, 2024, 9(3): e155-e165.
- [14] 张海蓉, 朱佩, 孙一珂, 等. 从玄府为人体耗散结构之基论治熵病[J]. *中华中医药杂志*, 2023, 38(3): 1061-1064.
- [15] Banerji C R, Severini S, Caldas C, et al. Intra-tumour signalling entropy determines clinical outcome in breast and lung cancer[J]. *PLoS Comput Biol*, 2015, 11(3): e1004115.
- [16] 张宇叶, 武平, 王丹, 等. 基于耗散结构理论下慢性疲劳综合征病因病机相关性分析[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2016, 18(6): 135-138.
- [17] 蔡振刚. 浅议基于耗散结构下的乳腺癌中西医结合治疗[J]. *医学争鸣*, 2017, 8(6): 46-48.
- [18] 牛爱琴, 刘绍光. 用耗散结构理论浅析妇科肿瘤的发生机制[J]. *医学与哲学*, 2005, 26(22): 37-39.
- [19] 崔珈铭, 李炜弘, 许嗣立, 等. 试用耗散结构理论、自组织及熵理论阐释中医疗效中瞑眩现象的合理性[J]. *云南中医学院学报*, 2013, 36(5): 13-14.
- [20] Klimek R. Cervical cancer as a natural phenomenon[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 1990, 36(3): 229-238.
- [21] Sabater B. Entropy perspectives of molecular and evolutionary biology[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(8): 4098.
- [22] 吴伟光. 熵与生命和肿瘤的关系[J]. *生命的化学*, 2001, 21(6): 531-533.
- [23] 赵明蕊, 徐娜, 郭安齐. 熵理论对生命现象的研究[J]. *河南职工医学院学报*, 2012, 24(3): 357-358.
- [24] 赵明蕊, 张景亚, 王舒雨, 等. 熵理论解释限制能量摄入与延长寿命的关系[J]. *河南职工医学院学报*, 2012, 24(5): 719-721.
- [25] Vall é e A, Lecarpentier Y, Guillemin R, et al. Reprogramming energetic metabolism in Alzheimer's disease[J]. *Life Sci*, 2018, 193(1): 141-152.
- [26] Wen C P, Wai J P, Tsai M K, et al. Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: A prospective cohort study[J]. *Lancet*, 2011, 378(9798): 1244-1253.
- [27] Campos J C, Marchesi Bozi L H, Krum B, et al. Exercise preserves physical fitness during aging through AMPK and mitochondrial dynamics[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2023, 120(2): e2204750120.
- [28] Jia J, Zhao T, Liu Z, et al. Association between healthy lifestyle and memory decline in older adults: 10 year, population based, prospective cohort study[J]. *Bmj*, 2023, 380(1): e072691.
- [29] Null G, Pennesi L. Diet and lifestyle intervention on chronic moderate to severe depression and anxiety and other chronic conditions[J]. *Complement Ther Clin Pract*, 2017, 29(1): 189-193.
- [30] De Miguel Z, Khoury N, Betley M J, et al. Exercise plasma boosts memory and dampens brain inflammation via clusterin[J]. *Nature*, 2021, 600(7889): 494-499.
- [31] Berding K, Vlckova K, Marx W, et al. Diet and the microbiota-gut-brain axis: Sowing the seeds of good mental health[J]. *Adv Nutr*, 2021, 12(4): 1239-1285.
- [32] Bremner J D, Moazzami K, Wittbrodt M T, et al. Diet, stress and mental health [J]. *Nutrients*, 2020, 12(8): 2428.
- [33] Yeung S S Y, Kwan M, Woo J. Healthy diet for healthy aging[J]. *Nutrients*, 2021, 13(12): 4310.
- [34] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯选集: 第1卷 [M]. 北京: 人民出版社, 2012: 137-138.
- [35] Okui T. An analysis of health inequalities depending on educational level using nationally representative survey data in Japan, 2019[J]. *BMC Public Health*, 2021, 21(1): 2242.
- [36] Johnson A E, Herbert B M, Stokes N, et al. Educational attainment, race, and ethnicity as predictors for Ideal cardiovascular health: From the national health and nutrition examination survey[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(2): e023438.
- [37] Gómez-Salgado J, Domínguez-Salas S, Romero-Martín M, et al. Work engagement and psychological distress of health professionals during the COVID-19 pandemic[J]. *J Nurs Manag*, 2021, 29(5): 1016-1025.
- [38] Watanabe M, Yamauchi K. The effect of quality of overtime work on nurses' mental health and work engagement[J]. *J Nurs Manag*, 2018, 26(6): 679-688.