

定向声频刺激调控奶牛泌乳性能的生理应激响应与神经内分泌机制

洪泰¹ 郭昊翔² 田梦涵³ 顾丞² 杨淳^{4*1}

1 宁夏医科大学人文与管理学院

2 宁夏医科大学第三临床医学院

3 宁夏医科大学第一临床医学院

4 宁夏医科大学第二临床医学院

DOI:10.32629/as.v9i8.4246

[摘要] 声音环境是规模化奶牛养殖中容易被忽视但具有调控潜力的外部因子。既往研究多从音乐类型出发,探讨轻音乐、民族音乐、摇滚乐、打击乐及不同乐器声源对奶牛产奶量、乳成分和血液激素的影响,但“音乐类型”分类主观性较强,难以明确真正发挥作用的声学参数。定向声频刺激以频率、节奏、声强、持续时间、播放方向和声源距离等可量化指标为基础,可将经验性音乐播放转化为可重复、可评价的环境调控技术。适宜声频刺激可能通过降低奶牛警觉和焦躁反应,稳定采食、反刍和卧躺行为,减轻下丘脑—垂体—肾上腺轴及交感—肾上腺髓质系统介导的应激反应,并进一步影响5-羟色胺、 γ -氨基丁酸、 β -内啡肽、催乳素、催产素、生长激素和胰岛素等神经内分泌指标,从而改善乳汁合成、排乳反射和乳品质量。相反,高声强、快节奏或频率突变明显的声源可能诱发应激,抑制泌乳性能。本文围绕定向声频刺激调控奶牛泌乳性能的生理应激响应与神经内分泌机制进行综述,以期对奶牛非药物化、福利友好型和智能化精准养殖提供理论参考。

[关键词] 定向声频刺激; 奶牛; 泌乳性能; 生理应激; 神经内分泌; 精准养殖

中图分类号: S823.91 文献标识码: A

Regulation of Physiological Stress Responses and Neuroendocrine Mechanisms in Dairy Cow Lactation Performance by Directional Acoustic Stimulation

Tai Hong¹ Haoxiang Guo² Menghan Tian³ Cheng Gu² Chun Yang^{4*1}

1 School of Humanities and Management

2 The Third Clinical Medical College

3 The First Clinical Medical College

4 The Second Clinical Medical College

[Abstract] The acoustic environment is an easily overlooked but potentially regulatable external factor in large-scale dairy farming. Previous studies have mostly focused on music genres, such as light music, folk music, rock music, percussion, and different instrument sources, and their effects on milk yield, milk composition, and blood hormones in dairy cows. However, the classification of "music genre" is highly subjective, making it difficult to identify the specific acoustic parameters that truly exert effects. Directional acoustic stimulation, based on quantifiable indices including frequency, rhythm, sound intensity, duration, playback direction, and sound source distance, can transform empirical music playback into a reproducible and evaluable environmental regulation technique. Appropriate acoustic stimulation may reduce alertness and agitation, stabilize feeding, rumination, and lying behaviors, alleviate stress responses mediated by the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic-adrenomedullary system, and further affect neuroendocrine indicators such as serotonin, γ -aminobutyric acid, β -endorphin, prolactin, oxytocin, growth hormone, an

d insulin, thereby improving milk synthesis, milk ejection reflex, and milk quality. Conversely, high-intensity, fast-tempo, or sharply fluctuating sounds may induce stress and inhibit lactation performance. This review summarized the physiological stress responses and neuroendocrine mechanisms underlying the regulation of dairy cow lactation performance by directional acoustic stimulation, aiming to provide a theoretical reference for non-pharmacological, welfare-friendly, and intelligent precision farming in dairy cattle.

[Key words] directional acoustic stimulation; dairy cows; lactation performance; physiological stress; neuroendocrine; precision farming

1 研究背景与问题提出

奶牛泌乳性能是遗传基础、营养供给、环境条件、饲养管理和机体内分泌状态共同作用的结果。随着规模化、集约化养殖发展,产奶量和乳品质提升已不再单纯依赖饲料配方和品种改良,环境舒适度、动物福利及应激控制逐渐成为影响奶牛生产性能的重要因素。转群、挤奶操作、机械噪声、饲养密度、热应激及陌生声源等均可能改变奶牛行为状态,诱发不同程度的应激反应,进而影响采食、反刍、休息、能量代谢和泌乳内分泌平衡。

当外界刺激超过奶牛适应范围时,机体可通过下丘脑—垂体—肾上腺轴及交感—肾上腺髓质系统产生应答,表现为皮质醇、肾上腺素等应激相关指标升高。持续或强烈应激会使能量代谢向防御反应倾斜,抑制采食和反刍,降低营养物质向乳腺合成方向的分配效率,并干扰催乳素、催产素、生长激素、胰岛素等泌乳相关激素分泌。由此可见,泌乳性能下降并非单一乳腺功能问题,而是神经、内分泌、代谢和行为状态失衡的综合结果。

相较于药物或激素干预,声音环境作为非侵入性环境因子,具有低成本、易部署、可长期干预和对动物生理影响温和等优势。已有研究提示,不同类型、节奏和乐器音色的音乐对奶牛产奶量、乳成分、血液激素、神经递质和抗氧化状态具有不同影响^[1-5]。节奏平稳、强度适中、旋律舒缓的声音更可能产生积极作用,而节奏突变、频率波动大或声强过高的声音则可能诱发兴奋、焦躁或应激反应。因此,声音并非简单背景刺激,而是可通过听觉传入影响中枢神经活动、情绪状态和内分泌节律的环境调控信号。

2 从音乐干预到定向声频刺激的研究转向

既往研究多以“音乐类型”为分类依据,比较轻音乐、民族音乐、摇滚乐、打击乐、胎教音乐、早教音乐及不同乐器演奏对奶牛产奶量和激素水平的影响^[3,6,7]。这类研究为认识声音环境与奶牛生产性能之间的关系提供了基础,但仍存在局限。首先,“音乐类型”具有较强主观性,同一类别作品的频率范围、节奏速度、声强变化和音色结构可能差异明显。其次,单纯以音乐风格比较,难以明确真正发挥作用的是旋律、节奏、声强、频谱结构还是播放时长。再次,声源位置、传播方向、环境混响和个体接受程度均可能影响结果,导致研究可重复性不足。

因此,相关研究需要从“音乐干预”转向“声频参数干预”。定向声频刺激是指以可量化声音参数为基础,围绕频率、节奏、声强、持续时间、播放时段、声源方向和作用对象进行精准设计,使声音由经验性播放转变为可调控、可重复、可评价的生理调节手段。与传统音乐干预相比,定向声频刺激更强调参数清晰

和机制可解释,有助于分析声音刺激与奶牛行为、应激激素、神经递质和泌乳性能之间的剂量—效应关系。

3 生理应激响应机制

声频刺激对奶牛泌乳性能的影响,首先表现为对机体应激状态的调节。当声音刺激处于适宜范围时,可降低奶牛对环境的警觉程度,改善采食、反刍和卧躺行为,使机体处于相对稳定的生理状态;当声音强度过高、节奏突变明显或频率波动过大时,则可能被识别为环境威胁,诱发应激反应。

强烈或不稳定声频刺激可提高中枢神经兴奋性,促使下丘脑释放促肾上腺皮质激素释放激素,进一步激活垂体和肾上腺皮质,使皮质醇水平升高。同时,交感神经兴奋可促进肾上腺髓质释放肾上腺素和去甲肾上腺素,使心率、呼吸、肌肉张力和警觉行为增加。此类反应短期内有助于机体适应外界刺激,但若持续存在,则会造成能量代谢重分配,使更多营养物质用于应激防御,而非乳腺合成和乳汁分泌。

应激反应对泌乳性能的抑制并非单一路径。首先,应激可降低奶牛采食意愿和反刍稳定性,影响干物质摄入和瘤胃发酵效率,减少乳腺合成所需能量与底物供应。其次,皮质醇和儿茶酚胺水平升高可改变糖脂代谢,使机体优先维持血糖和应激反应需要,降低葡萄糖、脂肪酸和氨基酸向乳腺组织的利用效率。再次,应激状态可抑制催产素释放或干扰其作用,影响乳汁排出反射,使奶牛即使具备乳汁合成能力,也可能因排乳不充分而表现为产奶量下降。

不同声频参数诱发的应激强度存在差异。节奏稳定、声强适中、频率变化平缓的声音更容易形成可预测声环境,使奶牛产生适应和放松反应;节奏过快、低频冲击强、声强波动大或突然出现的声音,则更容易造成惊吓和神经兴奋。既往研究中,摇滚乐、打击乐和节奏强烈音乐常表现出泌乳抑制倾向^[3,4],其本质可能并不在于音乐类别本身,而在于节奏、声强和频谱变化对奶牛应激系统产生了较强刺激。

4 神经内分泌调控机制

奶牛泌乳活动受中枢神经、内分泌轴、能量代谢和乳腺功能共同调控。声频刺激作为外源性环境信号,首先经听觉系统传入中枢神经系统,影响情绪状态、警觉水平和自主神经活动,继而通过神经递质和内分泌激素改变乳汁合成与排出过程。其机制可概括为“声频感知—中枢调节—神经递质变化—泌乳激素重塑—乳腺功能响应”。

声频刺激可通过调节应激轴影响泌乳相关激素。高强度或

不可预测声源可激活下丘脑—垂体—肾上腺轴,使皮质醇水平升高。皮质醇升高会促使机体进入防御性代谢状态,增加糖异生和脂肪动员,使营养物质优先用于维持应激反应,而非乳腺合成。交感神经兴奋可促进肾上腺素释放,导致血管收缩、警觉增强和排乳反射受抑。适宜声频则可能通过舒缓情绪、降低挤奶前紧张反应,维持催乳素和催产素相关通路稳定。催乳素参与乳腺上皮细胞分化、乳蛋白合成和乳汁生成;催产素主要参与乳汁排出反射,其释放与奶牛情绪安定和挤奶环境稳定密切相关。

此外,生长激素与乳腺营养分配、脂肪动员和泌乳持续性有关,胰岛素参与葡萄糖摄取和能量利用。适宜声频若能改善采食、反刍和休息行为,可间接优化能量代谢状态,提高乳腺对葡萄糖、氨基酸和脂肪酸等泌乳底物的利用效率。由此可形成“舒缓—稳态—促乳”效应;不适宜声频则可能形成“兴奋—应激—抑乳”效应。

5 应用前景与评价指标

定向声频刺激有望成为规模化牧场中低成本、非药物、福利友好型的环境调控技术。实际应用中,声频系统应从单纯播放背景音乐升级为基于参数调控的智能声环境管理平台,围绕频率、节奏、声强、播放时段、持续时间和声源方向进行模块化设计,并结合牛舍空间结构、牛群密度和挤奶流程进行布置。

评价定向声频刺激效果时,不能只以产奶量作为唯一指标。更合理的评价体系应包括行为学、生理应激、神经内分泌、乳品质量和健康状态等多个层面。行为学指标包括采食时间、反刍时间、卧躺时间、站立时间、活动量、惊跳反应和挤奶配合度。生理应激指标包括皮质醇、肾上腺素、心率变化、呼吸频率和体表温度。神经内分泌指标包括5-羟色胺、 γ -氨基丁酸、 β -内啡肽、催乳素、催产素、生长激素和胰岛素。生产性能和乳品质量指标则包括日产奶量、乳脂率、乳蛋白率、乳糖含量、乳体细胞数及乳房炎发生风险^[2,5,8]。

未来还应建立声频参数与泌乳响应之间的剂量—效应关系,明确声强上限、最佳节奏区间、频率范围、播放时长和适应周期,避免长期连续播放造成听觉疲劳或适应性减弱。声频刺激并非越长越好,也不是越强越有效,而应以“低应激、可适应、促稳态”为基本原则。

6 研究不足与未来方向

现有研究仍多集中于不同音乐类型比较,对频率、节奏、声强、声源距离、播放方向和持续时间等关键参数描述不足,使研究结果难以重复验证和生产转化。其次,许多研究更关注产奶量变化,对机制指标的整合不足。奶牛泌乳性能受采食、反刍、应激、能量代谢、神经递质、泌乳激素和乳腺健康共同影响,单纯比较日产奶量难以解释声频刺激的真实作用路径。

未来研究应从以下方向推进:一是建立标准化声频干预方案,明确频率、节奏、声强、持续时间、播放时段和声源布置方式;二是构建多维评价体系,将行为学指标、应激激素、神经递质、泌乳激素、乳成分、体细胞数和抗氧化指标纳入统一分析;三是开展纵向动态监测,观察奶牛从急性反应到长期适应的全过程;四是结合智能牧场数据平台,利用产奶量、反刍数据、活

动量和环境噪声监测结果,形成声频方案动态调整机制。

7 结语

定向声频刺激为奶牛泌乳性能调控提供了一种低成本、非药物、福利友好型的新思路。与传统音乐播放相比,其更强调声音参数的可控性、干预过程的可重复性和作用机制的可解释性。其核心并非“音乐本身”,而是特定频率、节奏、声强和持续时间形成的声环境信号,通过听觉传入影响中枢神经活动、应激轴反应、神经递质平衡和泌乳相关激素分泌,最终作用于采食、反刍、乳汁合成、乳汁排出和乳品质量。未来需建立“声频参数—行为响应—应激指标—神经内分泌变化—泌乳性能”的完整证据体系,推动其在规模化奶牛养殖中的标准化应用。

[基金项目]

宁夏医科大学大学生创新创业训练计划项目(项目编号: S202510752062)。

[参考文献]

- [1]曹振,赵宏,冯志,等.拉格音乐与中医五行调控对奶牛泌乳性能、抗氧化能力、神经内分泌、免疫水平及福利指标的影响[J].兽医前沿学报,2025,(12):1623026.
- [2]Pinkerton M P,England Z,Wenner B A,Pempek J A.Effect of different genres of music on behavior and milking parameters of dairy cows during milking[J].Frontiers in Animal Science,2025,6:1467314.DOI:10.3389/fanim.2025.1467314.
- [3]Mota-Rojas D,et al.Tactile,auditory,and visual stimulation as sensory enrichment for improving the welfare of livestock species[J].Animals,2024,14(9):1265.
- [4]莱梅斯KK,卡尔达拉FR,布尔巴雷利MF.挤奶期音乐与触觉刺激对奶牛福利及生产性能的影响[J].动物学,2023,13(23):3671.
- [5]Erasmus L M,van Marle-Köster E,Masenge A,Ganswindt A.Exploring the effect of auditory stimuli on activity levels,milk yield,and faecal glucocorticoid metabolite concentrations in Holstein cows[J].Domestic Animal Endocrinology,2023,82:106767.DOI:10.1016/j.domaniend.2022.106767.
- [6]Shamshul Kamar N N,Md Yusof N N.The impact of music on milk production and behaviour of dairy cattle[J].Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science,2023,46(2):385-400.
- [7]切瓦德SA,高尔GK,莫瑞亚VP等.音乐环境丰容对奶牛生产性能与行为的影响[J].热带动物健康与生产,2022,54(4):219.
- [8]Ciborowska P,Michalczuk M,Bień D.The effect of music on livestock:cattle,poultry and pigs[J].Animals,2021,11(12):3572.
- [9]丁俊.轻音乐对奶牛泌乳性能及血液神经递质的影响[J].中国饲料,2024,1(14):25-28.
- [10]李文伟,郑永军,杨圣慧,等.音频技术在禽畜养殖与果蔬种植中的应用研究进展[J].农业工程学报,2024,40(7):34-49.

作者简介:

洪泰(2003—),男,汉族,山东省枣庄市人,宁夏医科大学人文与管理学院本科生,主要研究方向为卫生事业管理。