

酵母培养物对奶牛热应激的缓解作用及其可能机制的研究进展

姜奥宇^{1,2}, 王祚^{3*}, 周传社^{1,2}, 沈维军³, 万发春³

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室, 畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室, 动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室, 湖南长沙 410128;
2. 中国科学院大学现代农业科学学院, 北京 100049; 3. 湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 夏季热应激对奶牛机体健康和泌乳性能影响严重, 可诱发采食量以及免疫性能降低等机体反应, 甚至可导致瘤胃酸中毒以及乳房炎等生理疾病, 给奶牛养殖业造成巨大经济损失。酵母培养物作为一种营养调控剂, 可以改善瘤胃内环境并修复胃肠道屏障, 增强奶牛免疫性能, 进而缓解热应激对奶牛机体的损伤。本文综述了酵母培养物对奶牛热应激的缓解作用及其可能机制, 为酵母培养物在奶牛生产中的科学应用提供参考和理论依据。

关键词: 酵母培养物; 奶牛; 热应激; 炎症反应; 氧化应激

中图分类号: S823.5

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20211124-04

我国南方牧场每年都会面临 2~3 个月的高温高湿环境挑战, 此阶段奶牛会出现体温升高、呼吸加快和食欲下降等热应激症状, 机体内分泌失调并诱发炎症反应, 直接影响奶牛生理健康以及牛奶品质, 且高产奶牛的产奶量以及乳成分(较中、低产奶牛)对热应激更为敏感^[1-2]。目前, 可通过测定牛舍温湿度指数(Temperature Humidity Index, THI)以及生理生化等指标综合判断奶牛热应激状态。Kaufman 等^[3]根据 THI 将奶牛不同热应激程度划分为轻度热应激($72 \leq \text{THI} \leq 79$)、中度热应激($80 \leq \text{THI} \leq 89$)和严重热应激($\text{THI} \geq 90$), 当 THI 高于 72 时, 产奶量随 THI 每提高一个单位降低 0.2 kg^[4]。

酵母培养物(Yeast Culture, YC)主要包括酵母菌细胞、变性培养基和酵母菌发酵所产生的细胞外代谢

产物, 富含维生素、矿物质、消化酶、寡糖和氨基酸等营养物质, 酵母细胞壁中的 β - 葡聚糖和甘露寡糖具有提升免疫性能和吸附霉菌毒素的功效。前人研究表明, 饲料中补充 YC 可改善奶牛体内氮素循环和净能平衡, 提高饲料转化率从而增加产奶量^[5-6]。另有研究发现, YC 可有效增加瘤胃微生物蛋白(MCP)浓度和乳脂校正乳产量, 且将 YC 与芽孢杆菌等其他益生菌组合使用效果更好^[7]。因此, 探究热应激对奶牛的影响机理及制定科学预防措施成为当前研究热点。本文主要综述了 YC 对奶牛热应激的缓解作用及其可能机制, 为实际生产中补充 YC 以减轻热应激奶牛症状提供科学依据。

1 YC 可改善瘤胃发酵环境

瘤胃液 pH 是与瘤胃功能密切相关的重要指标, 适合瘤胃微生物生长的 pH 范围为 6.2~6.8, 过高或过低都会对菌群结构产生影响。随着环境温度和湿度的不断增加, 奶牛反刍时间和次数减少, 同时瘤胃收缩幅度和频率降低, 瘤胃液乳酸含量增加导致 pH 降低^[8-9], 微生物活动因环境酸度增加而受到抑制, 球形梭菌和链球菌属相对数量增加, 而丝状杆菌属数量下降^[10]。YC 稳定瘤胃液 pH 的机制与改善奶牛摄食行为以及调节瘤胃菌群结构有关。Perdomo 等^[11]研究发

收稿日期: 2021-11-24; 修回日期: 2021-12-23

资助项目: 湖南省教育厅优秀青年项目(19B257); 湖南省自然科学基金青年基金项目(2019JJ50279); 国家自然科学基金面上项目(31772633)

作者简介: 姜奥宇(1999-), 男, 湖南岳阳人, 硕士, 动物营养与饲料科学专业, E-mail: 1348059711@qq.com

* 通讯作者: 王祚(1988-), 男, 湖南安化人, 讲师, 硕士, 研究生导师, 主要从事反刍动物消化生理及瘤胃微生物研究, E-mail: 413732057@qq.com

现,随着饲料中酿酒酵母剂量的增加,每千克中性洗涤纤维和干物质采食量的咀嚼时间有上升趋势,进入瘤胃的唾液缓冲盐含量增加,有利于中和瘤胃产生的过多乳酸。为探究活性酵母对奶牛瘤胃微生物的作用效果, Jiang 等^[12]通过对瘤胃微生物 16S rRNA 的测序发现,饲料中添加 5.7×10^7 CFU/(头·d) 活性酵母可增加黄化瘤胃球菌 (*Ruminococcus*) 和产琥珀酸丝状杆菌 (*F. succinogenes*) 等纤维降解菌的相对丰度,添加 6.0×10^8 CFU/(头·d) 高剂量失活酵母增加了瘤胃杆菌 (*Ruminobacter*)、双歧杆菌 (*Bifidobacteria*) 以及链球菌 (*Streptococcus*) 等淀粉分解菌的相对丰度。除此之外, Desnoyers 等^[13]采用 Meta 分析法对 157 项酵母饲养试验进行整合分析,发现饲料中添加酿酒酵母能够降低瘤胃乳酸浓度,且对瘤胃酸性环境的缓解程度与饲料中精料比例以及干物质采食量呈正比。

2 YC 可促进瘤胃上皮发育

瘤胃作为反刍动物重要的消化器官,其中的瘤胃微生物可利用饲料中的碳水化合物进行厌氧发酵,合成挥发性脂肪酸 (VFA) 和 MCP 等有机物质参与机体代谢,其中 VFA 可通过硝酸盐敏感性转运、 HCO_3^- 依赖性转运以及被动扩散等途径进入瘤胃上皮组织并促进瘤胃乳头生长,为机体代谢提供能量^[14]。高温高湿环境下,奶牛食欲下降,瘤胃发酵底物减少导致 VFA 产量降低,瘤胃乳头状突起宽度以及表面积减少。马燕芬等^[15]研究表明,热应激会导致奶山羊瘤胃黏膜上皮细胞 Occludin 蛋白和 mRNA 表达显著降低,破坏瘤胃上皮间的紧密连接结构,瘤胃黏膜通透性增加进而导致菌群移位,影响其生理活性。已有研究发现, YC 可快速消耗瘤胃内少量氧气,维持内部厌氧环境,促进纤维降解菌和乳酸分解菌等瘤胃微生物增殖^[13],并利用饲料中的碳水化合物合成 VFA,其中低浓度丁酸可促进瘤胃上皮细胞增长,促进胃肠道功能正常发育^[16]。Dias 等^[17]研究发现,在低 (23%) 或高淀粉 (29%) 含量的饲料中补充 YC 可促进瘤胃内纤维消化以及 MCP 合成,增加 FFAR3 和 SLC16A3 等与 VFA 传感和吸收相关基因的表达,从而提高瘤胃壁细胞对 VFA 的吸收效率,促进瘤胃上皮细胞紧密连接蛋白基因表达。Lesmeister 等^[18]试验表明,在奶犊牛开食料中添加 2% YC 可使瘤胃乳头长度和宽度较对照组分别提高 19% 和 20%,有效增

加瘤胃内表面积,提高 VFA 和 MCP 等养分吸收效率,促进瘤胃进一步发育。

3 YC 可修复胃肠道屏障

高温环境下,具有促进消化道蠕动功能的甲状腺素分泌活动会受到抑制,奶牛瘤胃和肠道食糜流动速率减缓,机体对养分消化吸收受到影响。此外,出于散热需要,流经家畜皮肤血管等体表部位的血液增加,而内脏和小肠等部位的血流量相对减少,肠道血液循环和氧气供应受阻,黏膜上皮细胞受损导致屏障机能被破坏,内毒素渗透加剧肠道损伤,且内毒素净吸收量随着热应激时间的延长呈增加趋势^[19-20]。YC 可为巨球菌和反刍兽新月单胞菌提供促进因子,以缓解链球菌属生成乳酸对瘤胃屏障的侵蚀作用,同时抑制革兰氏阴性菌分解,减缓内毒素在瘤胃内的释放和吸收^[21]。酵母细胞壁中含有丰富的酵母多糖,其中 β -葡聚糖可显著增加奶牛肠绒毛高度,改善小肠黏膜形态结构及肠道免疫力^[22],这极大地增强了肠道对营养物质的消化吸收能力。夏翠等^[23]研究也发现,在断奶羔羊饲料中添加 0.50% 酵母细胞壁,回肠绒毛高度和肌层厚度分别增加 19.0% 和 32.7%,十二指肠隐窝深度和肌层厚度分别增加 29.4% 和 76.9%,机体免疫力和生长性能得到保障。

4 YC 可改善物质代谢

动物下丘脑接收到热信号后,神经和内分泌系统可合成载脂蛋白 A-IV 抑制采食行为^[24],以减少机体热增耗及代谢产热,合成牛奶的前体物质来源减少,从而影响奶牛生产性能^[25]。采食量下降导致机体必须增强糖异生作用来提高血液中葡萄糖含量,以弥补能量负平衡^[26]。Wheelock 等^[27]通过配对试验发现,热应激可导致胰岛素分泌量增加,进一步证实热应激可对奶牛体内糖代谢造成影响。YC 可通过酵母细胞壁多糖及其他代谢产物共同进行消化调节。高景等^[28]研究指出,饲料中添加酵母铬可激活热应激奶牛的胰岛素信号通路,调节糖类、脂肪和蛋白质等营养物质消化代谢。对反刍动物而言,瘤胃微生物在饲料降解和消化代谢过程中起关键作用。YC 富含氨基酸、维生素和寡糖等物质,可为微生物提供生长能源,减缓热应激对瘤胃微生物降解能力和功能分解菌活动的抑制作用。

5 YC 可促进机体散热

热应激奶牛机体代谢产热增加, 直肠以及皮肤温度明显上升, 需要散失热量以维持内环境稳态, THI 超过 64.25 时, 奶牛喘息时间随 THI 升高呈递增趋势^[29]。Salvati 等^[30]研究发现, 每头奶牛饲料中添加 2.5×10^{11} CFU/d 活性酵母和 5×10^{10} CFU/d 失活酵母细胞较对照组呼吸频率有所降低, 但体温差异并不明显, 说明酵母细胞可增加热应激奶牛散热效率, 维持体温相对稳定。Ahmad 等^[31]研究表明, 酿酒酵母在有氧条件下可利用色氨酸、天冬氨酸和谷氨酸合成并促进瘤胃吸收烟酸, 烟酸可作用于血管前列腺素受体, 刺激皮肤血管扩张, 增加奶牛外周热量损失, 有利于降低热应激奶牛体温。Dias 等^[6]也指出, 饲料中补充 YC 可显著提高热应激奶牛血浆烟酸浓度, 显著降低呼吸频率、直肠温度和皮肤温度, 这些都得益于烟酸对血管的舒张作用, 表明 YC 可通过合成烟酸的潜在途径提高散热和泌乳性能。

6 YC 可缓解氧化应激

热应激奶牛体温升高, 细胞代谢反应加速导致活性氧 (ROS) 水平上升, 过量的 ROS 通过 Nrf2 和 NF- κ B 途径调控抗氧化蛋白等保护性基因表达^[32], 特别是金属离子存在时, 超氧化物歧化酶 (SOD) 可催化 ROS 反应生成活性较强的自由基, 自由基超过体内抗氧化能力而引起氧化应激^[33]。同时, 肾上腺髓质部位的肾上腺素和去甲肾上腺素分泌量增加, 中枢神经系统兴奋性增强, 引起呼吸频率加快, 细胞与组织 CO_2 流失加快, 导致机体代谢紊乱。谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 可利用补充酵母中的谷胱甘肽作为还原剂, 与机体内的过氧化氢酶 (CAT) 共同促进过氧体系中 H_2O_2 和过氧化物的还原, 有助于细胞抵抗氧化损伤。李冬芳等^[34]研究表明, 在饲料中添加 50~70 mg/kg 复合菌培养物可显著提高肉羊的 GSH-Px、SOD、CAT 活性, 饲料中添加 75 mg/kg β -葡聚糖也可显著提高肉羊的总抗氧化能力。生物膜中脂质过氧化反应的主要产物丙二醛 (MDA) 会降低 GSH-Px、SOD 活性, 进而引发细胞氧化损伤, 酵母细胞壁中的 β -葡聚糖也可降低围产期奶牛血清 MDA 以及氧自由基含量, 增强机体总抗氧化能力^[35]。总之, YC 可增强 GSH-Px、SOD、CAT 等抗氧化酶基因表达, 有效清除热应激奶牛体内过量自由基, 抑制脂质过氧化链式反应, 从而提高机体抗氧化能力并

抑制细胞氧化损伤。

7 YC 可增强免疫功能

高温环境可通过机体内外感受器引起机体糖皮质激素 (GC) 分泌量增加, 而 GC 会对淋巴细胞合成和有丝分裂造成阻碍, 进而加速淋巴细胞凋亡。此外, 热应激奶牛体内白细胞介素 -6 和肿瘤坏死因子 - α 等促炎细胞因子含量显著增加^[1], 加剧机体炎症反应, 二者共同抑制细胞免疫和体液免疫, 从而导致乳腺上皮细胞自噬损伤, 泌乳性能受到严重影响^[36-37]。 β -防御素作为广泛存在于哺乳动物体内的阳离子内源性抗菌肽, 是热应激奶牛除先天性免疫屏障外最易产生的有效免疫因子, 也是机体免疫系统的重要组成部分。酿酒酵母细胞壁可通过 Toll 样受体 -2 (TLR-2) 调控瘤胃上皮细胞中绵羊 β -防御素 -1 (Sheep β -Defensin-1, SBD-1) 表达量, 且不同浓度酵母细胞壁对 TLR-2 的 mRNA 表达量影响存在差异^[38]。Jin 等^[39]研究进一步证实, 酿酒酵母菌促进绵羊瘤胃上皮细胞 SBD-1 基因表达, 抑制瘤胃内有害菌生长繁殖从而维持瘤胃微生态平衡。同时, YC 也可增强淋巴细胞的增殖反应, 降低淋巴细胞凋亡率, 有效改善热应激奶牛免疫机能^[40]。可以预见, YC 因其调控 β -防御素作用于微生物整体结构的特殊性, 在缓解奶牛热应激以及乳房炎等疾病方面具有广泛的应用前景。

8 YC 可降低代谢强度

热应激可引发动物机体内源性代谢产物改变, 以下丘脑 - 垂体 - 肾上腺轴为主线, 涉及下丘脑 - 垂体 - 甲状腺轴 / 性腺轴 / 生长轴, 通过以上途径影响奶牛泌乳性能及相关生理代谢过程^[41]。热应激信号可促使下丘脑室旁核细胞性神经元合成促肾上腺皮质激素释放激素, 并通过门脉血液传递至垂体促使释放促肾上腺皮质激素, 激活肾上腺皮质细胞合成皮质醇 (COR)。COR 作为动物应激的重要激素指标, 可促进血糖水平上升, 增加机体能量供应以缓解热应激能量负平衡, 维持内环境稳态。在急性热应激时期血液 COR 浓度会显著增加, 而持续热应激时期出现下降趋势^[42]。这可能是持续高温环境促使肾上腺皮质激素和髓质激素分泌量增加, 负反馈作用于中枢神经系统, 导致 COR 分泌活动减弱, 说明热应激奶牛机体代谢强度较高且不稳定。单强等^[43]研究发现, 随着饲料中富铬酵母比例的增加,

热应激奶牛血清 COR 浓度呈线性下降,且三碘甲状腺氨酸含量和甲状腺素转化效率显著降低,机体代谢强度得到减缓。这与 YC 中的铬等微量元素有较强关联^[44],也说明 YC 效果受菌株种类、添加剂量及基础饲粮等因素影响^[45]。在饲养试验中需不断探索其他种类 YC 对机体代谢的作用功效。

9 小结

综上所述,作为营养调控措施,在热应激奶牛饲粮中添加 YC 可稳定瘤胃内环境、修复肠道屏障、改善机体代谢以及应激状态,因此 YC 对维持热应激奶牛的机体健康和生产性能具有重要意义。目前, YC 对奶牛的作用效果主要集中在单一菌株对奶牛瘤胃发酵、生理指标以及生化指标等基础研究上,对不同酵母菌株混合培养物在奶牛机体中的研究尚不多见,今后可深入研究多酵母菌株混合培养物在奶牛机体中的影响,探索 YC 影响胃肠道微生物结构区系,从而深入研究微生物通过脑肠轴与宿主互作效应等可能机制,以期 YC 在未来奶牛养殖业中得到广泛推广。

参考文献:

- Min L, Zheng N, Zhao S G, et al. Long-term heat stress induces the inflammatory response in dairy cows revealed by plasma proteome analysis[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2016, 471(2): 296-302.
- 童津津, 张华, 吴富鑫, 等. 不同泌乳水平奶牛产奶量、乳成分和环境温湿度指数的相关性研究[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(7): 3171-3180.
- Kaufman J D, Saxton A M, Rius A G. Short communication: relationships among temperature-humidity index with rectal, udder surface, and vaginal temperatures in lactating dairy cows experiencing heat stress[J]. *J Dairy Sci*, 2018, 101(7): 6424-6429.
- Ravagnolo O, Miztal I. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation[J]. *J Dairy Sci*, 2000, 83(9): 2126-2130.
- Zhu W, Zhang B X, Yao K Y, et al. Effects of supplemental levels of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on lactation performance in dairy cows under heat stress[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2016, 29(6): 801-806.
- Dias J D L, Silva R B, Fernandes T, et al. Yeast culture increased plasma niacin concentration, evaporative heat loss, and feed efficiency of dairy cows in a hot environment [J]. *J Dairy Sci*, 2018, 101(7): 5924-5936.
- 汤志宏, 徐宁宁, 叶均安. 复合益生菌和酵母培养物对热应激奶牛生产性能、瘤胃发酵和血清抗应激指标的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2019, 45(5): 611-618.
- 王哲奇, 徐元庆, 石璐璐, 等. 热应激对反刍动物采食和瘤胃功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(8): 3448-3455.
- Müschner-Siemens T, Hoffmann G, Ammon C, et al. Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions[J]. *J Therm Biol*, 2020, 88(2): 102484.
- Uyeno Y, Sekiguchi Y, Tajima K, et al. An rRNA-based analysis for evaluating the effect of heat stress on the rumen microbial composition of Holstein heifers[J]. *Anaerobe*, 2010, 16(1): 27-33.
- Perdomo M C, Marsola R S, Favoreto M G, et al. Effects of feeding live yeast at 2 dosages on performance and feeding behavior of dairy cows under heat stress[J]. *J Dairy Sci*, 2020, 103(1): 325-339.
- Jiang Y, Ogunade I M, Qi S, et al. Effects of the dose and viability of *Saccharomyces cerevisiae*. 1. Diversity of ruminal microbes as analyzed by Illumina MiSeq sequencing and quantitative PCR[J]. *J Anim Sci*, 2017, 100(1): 325-342.
- Desnoyers M, Giger-Reverdin S, Bertin G, et al. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants[J]. *J Dairy Sci*, 2009, 92(4): 1620-1632.
- 李洋, 高民, 胡红莲, 等. 反刍动物瘤胃挥发性脂肪酸的吸收机制[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(6): 2070-2078.
- 马燕芬, 陈琦, 杜瑞平, 等. 热应激对奶山羊瘤胃上皮细胞屏障通透性的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(21): 4478-4485.
- 彭志鹏, 罗丹, 许超, 等. 丁酸对瘤胃上皮细胞生长和凋亡的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2018, 40(3): 606-611.
- Dias A L G, Freitas J A, Micai B, et al. Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows[J]. *J Dairy Sci*, 2018, 101(1): 201-221.
- Lesmeister K E, Heinrichs A J, Gabler M T. Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves[J]. *J Dairy Sci*, 2004, 87(6): 1832-1839.
- 陈欣, 李元晓, 吴秋珏, 等. 家畜热应激小肠损伤修复的研究进展[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(11): 4357-4362.
- 王立志. 热应激对奶牛、奶山羊体内毒素含量的影响及缓解热应激的营养技术研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2010: 34-35.
- Callaway E S, Martin S A. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose[J]. *J Dairy Sci*, 1997, 80(9): 2035-2044.
- Ma T, Tu Y, Zhang N F, et al. Effects of dietary yeast β -glucan on nutrient digestibility and serum profiles in pre-ruminant holstein calves[J]. *J Integr Agric*, 2015, 14(4): 749-757.
- 夏翠, 刘月, 孙洪新, 等. 酵母细胞壁对断奶羔羊生长性能、免疫能力及胃肠道发育的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(6): 2747-2754.
- Memon S B, Lian L, Gadahi J A, et al. Proteomic response of mouse pituitary gland under heat stress revealed active regulation of stress responsive proteins[J]. *J Therm Biol*, 2016,

- 61(10): 82-90.
- [25] Corazzin M, Saccà E, Lippe G, *et al.* Effect of heat stress on dairy cow performance and on expression of protein metabolism genes in mammary cells[J]. *Animals(Basel)*, 2020, 10: 21-24.
- [26] 李林, 艾阳, 谢正露, 等. 热应激状态下泌乳奶牛通过激活 GHIGF-I 轴增强糖异生变化[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(15): 3046-3053.
- [27] Wheelock J B, Rhoads R P, Vanbaale M J, *et al.* Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating holstein cows[J]. *J Dairy Sci*, 2010, 93(2): 644-655.
- [28] 高景, 赵传超, 李晗, 等. 酵母铬和二氢吡啶对热应激奶牛营养物质消化率及血液生理生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(12): 5719-5729.
- [29] 余厚默, 张海亮, 杨明路, 等. 夏季热应激条件下荷斯坦牛喘息时间规律及影响因素研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(8): 264-268.
- [30] Salvati G G S, Morais Júnior N N, Melo A C S, *et al.* Response of lactating cows to live yeast supplementation during summer[J]. *J Dairy Sci*, 2015, 98(6): 4062-4073.
- [31] Ahmad F, Moat A G. Nicotinic acid biosynthesis in prototrophs and tryptophan auxotrophs of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *J Biol Chem*, 1966, 241: 775-780.
- [32] 石璐璐, 徐元庆, 王哲奇, 等. 热应激诱发的氧化应激对羊的影响及其作用机制[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(7): 3016-3022.
- [33] Valko M, Leibfritz D, Moncol J, *et al.* Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease[J]. *J Cell Biochem*, 2007, 39(1): 44-84.
- [34] 李冬芳, 刘世雄, 于春微, 等. 复合菌培养物及 β -葡聚糖对肉羊抗氧化能力与炎症因子含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(5): 2964-2970.
- [35] 顾鲲鹏, 赵连生, 王留香, 等. 饲料中添加酵母 β -葡聚糖对围产期奶牛生产性能、血清生化指标及抗氧化能力的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(6): 2164-2171.
- [36] 韩佳良, 刘建新, 刘红云. 热应激对奶牛泌乳性能的影响及其机制[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(16): 3162-3170.
- [37] Dahl G E, Tao S, Laporta J. Heat stress impacts immune status in cows across the life cycle[J]. *Front Vet Sci*, 2020, 7: 116.
- [38] 田巧珍, 金鑫, 张曼, 等. 酿酒酵母细胞壁可通过 TLR2 受体调控绵羊瘤胃上皮细胞表达 SBD-1[J]. *中国兽医学报*, 2019, 39(2): 296-302.
- [39] Jin X, Zhang M, Yang Y F. *Saccharomyces cerevisiae* β -glucan-induced SBD-1 expression in ovine ruminal epithelial cells is mediated through the TLR-2-MyD88-NF- κ B/MAPK pathway[J]. *Vet Res Commun*, 2019, 43(2): 77-89.
- [40] Nasiri A H, Towhidi A, Shakeri M. Effects of *saccharomyces cerevisiae* supplementation on milk production, insulin sensitivity and immune response in transition dairy cows during hot season[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2019, 251(5): 112-123.
- [41] Lee D Y, Kim E, Choi M H. Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress[J]. *J Biochem Mol Biol*, 2015, 48(4): 209-216.
- [42] Gross W B, Siegel P B. Effect of social stress and steroids on antibody production[J]. *Avian Dis*, 1973, 17(4): 807-815.
- [43] 单强, 马峰涛, 金宇航, 等. 富铬酵母对热应激奶牛生产性能、血清指标及血浆和牛奶中微量元素含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(5): 2198-2208.
- [44] Bin-Jumah M, Abd El-hack M E, Abdelnour S A, *et al.* Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review[J]. *Sci Total Environ*, 2019, 707(3): 135996.
- [45] 耿春银, 任丽萍, 周振明, 等. 反刍动物酵母菌制剂应用的效果及可能作用机制[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(4): 1011-1020.

Research Progress on Yeast Culture Alleviating Heat Stress of Dairy Cows and the Possible Mechanism

JIANG Aoyu^{1,2}, WANG Zuo^{3*}, ZHOU Chuanshe^{1,2}, SHEN Weijun³, WAN Fachun³

Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, National Engineering Laboratory for Pollution Control and Resource Utilization in Livestock and Poultry Production, Key Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process of Hunan Province, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Hunan Changsha 410128, China;
2. College of Advanced Agricultural Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Hunan Changsha 410128, China)

Abstract: Heat stress seriously affects the health and lactation performance of dairy cows in summer, which can induce body reactions such as reduction of feed intake and immune performance, and even leads to physiological diseases such as rumen acidosis and mastitis, causing huge economic losses to dairy farming industry. As a nutritional regulator, yeast culture can improve the internal environment of the rumen and repair the gastrointestinal barrier, enhance the immune performance and alleviate the damage of heat stress to dairy cows' organism. This paper reviewed the alleviating effect and possible mechanism of yeast culture on heat stress of dairy cows, providing reference and theoretical basis for the scientific application of yeast culture in dairy production.

Keywords: Yeast culture; Cow; Heat stress; Inflammatory response; Oxidative stress

(责任编辑: 郑本艳)