

致编辑

细菌形成“生物被膜”还是“生物膜”？

印文¹, 刘涛¹, 罗静雯¹, 何进^{*2}¹ 湖北大学生命科学学院 省部共建生物催化与酶工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430062² 华中农业大学生命科学技术学院 农业微生物资源发掘与利用全国重点实验室, 湖北 武汉 430070

印文, 刘涛, 罗静雯, 何进. 细菌形成“生物被膜”还是“生物膜”?[J]. 微生物学通报, 2024, 51(2): 662-668.

YIN Wen, LIU Tao, LUO Jingwen, HE Jin. Appropriate Chinese translation of “biofilm”[J]. Microbiology China, 2024, 51(2): 662-668.

摘要: “Biofilm”是指黏附于非生物或生物表面后, 细菌通过分泌的胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)将自身包裹其中而形成的细菌聚集体膜状物。“Biofilm”的形成主要包括黏附、定殖、发育、成熟与主动消散 5 个阶段。“Biofilm”是具有复杂结构与多重功能的“动态细菌组织”, 因此在相对稳定微环境中的细菌具有更强的抗逆性, 从而导致病原菌更难去除, 而益生菌则更易在宿主体内存活与定殖。目前, 对于“biofilm”的中文翻译存在“生物被膜”和“生物膜”两种名词混用的现象, 少有文献对此深入讨论, 并明确指出哪种翻译更为准确。基于此, 本文对“biofilm”的形成过程、生理功能和使用现状进行了分析与讨论, 并认为“biofilm”翻译为“生物被膜”更为严谨、准确。

关键词: 细菌; 生物被膜/生物膜; 抗逆性; 形成; 扩散

Appropriate Chinese translation of “biofilm”

YIN Wen¹, LIU Tao¹, LUO Jingwen¹, HE Jin^{*2}¹ State Key Laboratory of Biocatalysis and Enzyme Engineering, School of Life Sciences, Hubei University, Wuhan 430062, Hubei, China² National Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China

Abstract: “Biofilm” refers to an aggregated bacterial film in which bacterial cells wrap themselves by secreting extracellular polymeric substances (EPS) after attaching to abiotic or biotic surfaces. The formation of a biofilm includes five stages: attachment, colonization, development, maturation, and active dispersal. A biofilm is a dynamic bacterial community with

资助项目: 国家自然科学基金(32000055, 31970074)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (32000055, 31970074).

*Corresponding author. E-mail: hejin@mail.hzau.edu.cn

Received: 2023-07-17; Accepted: 2023-09-11; Published online: 2023-10-09

a complex structure and multiple functions, so the bacteria in a relatively stable microenvironment have stronger resistance to stress, which makes pathogens more difficult to be eliminated and promotes the survival and colonization of probiotics in the host. At present, there is confusion in the Chinese translation of “biofilm”, and no clear conclusion as to which usage is more appropriate. In view of this problem, this paper analyzed the formation process, physiological functions, and current usage of “biofilm”, and finally determined the most appropriate Chinese translation of this word.

Keywords: bacteria; biofilm; stress resistance; formation; dispersal

“Biofilm”是由细菌附着在生物或非生物表面,分泌细胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)将自身包裹其中形成的有组织结构的细菌聚集体膜状物^[1]。EPS 包含胞外多糖(exopolysaccharides)、分泌蛋白质、胞外 DNA (extracellular deoxyribonucleic acid, eDNA)和脂质等多种组成成分。看起来细菌像是“作茧自缚”,但实际上,由于 EPS 隔离了环境胁迫,细菌在相对稳定的微环境中更易于存活,因而“biofilm”是细菌生存和繁殖的主要形式^[2-3]。自然界中 90%以上的细菌存在于“biofilm”中,而浮游状态的细菌只占很少一部分。

“Biofilm”很早就出现在地球上,如在南非巴伯顿绿岩带(Barberton greenstone belt)热液沉积物中,就发现了 33-34 亿年前的“biofilm”化石^[4];在澳大利亚皮尔巴拉克拉通(Pilbara Craton)的硫化物矿床中,发现了 32 亿年前的“biofilm”化石^[5]。早在 17 世纪,Antony van Leeuwenhoek 用自制显微镜研究牙斑上的微生物菌落时就观察到了“biofilm”^[6]。然而直到 20 世纪 70 年代,细菌“biofilm”的概念才由 J. William Costerton 等首次提出^[7]。

目前,国内教材、期刊和网络等对“biofilm”有“生物被膜”和“生物膜”两种中文翻译,并存在混用现象,少有文献对此深入讨论,并明确指出哪种更为准确。因此,本文对“biofilm”的形成过程、生理功能和使用现状进行分析与讨

论,并认为“biofilm”翻译为“生物被膜”更为严谨、准确。

1 “Biofilm”是细菌的主要存在形式

1.1 “Biofilm”的科学研究

“Biofilm”是细菌的主要存在与生存方式,随着人们对“biofilm”的关注度不断增加,对其研究也越来越多。在 NCBI 的 PubMed 数据库(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>)中搜索关键词“biofilm”,一共出现 77 620 条检索项,数据分析表明关于“biofilm”的科学研究呈现指数递增趋势(图 1) (截止到 2023 年 9 月 4 日)。所以,规范“biofilm”的中文翻译对于知识传播、科学交流及资源共享具有重要意义。

1.2 “Biofilm”的形成过程

要对“biofilm”进行正确的翻译,首先需了解其形成过程。“Biofilm”的形成和发育是一个复杂的动态过程,涉及细菌生理特性变化和多种基因调控,其形成主要分为五个阶段^[8-9](图 2):

- (1) 黏附:细菌通过与生物或非生物表面的弱相互作用(如范德华力),松散且可逆地吸附在表面^[10];
- (2) 定殖:细菌通过鞭毛、纤毛、胞外多糖和胶原黏附蛋白等较强的亲水疏水相互作用,不可逆地附着在生物或非生物表面^[11];
- (3) 发育:细菌增殖聚集形成多层细胞,产生和分泌 EPS,初步形成“biofilm”结构^[12];
- (4) 成熟:形成稳定

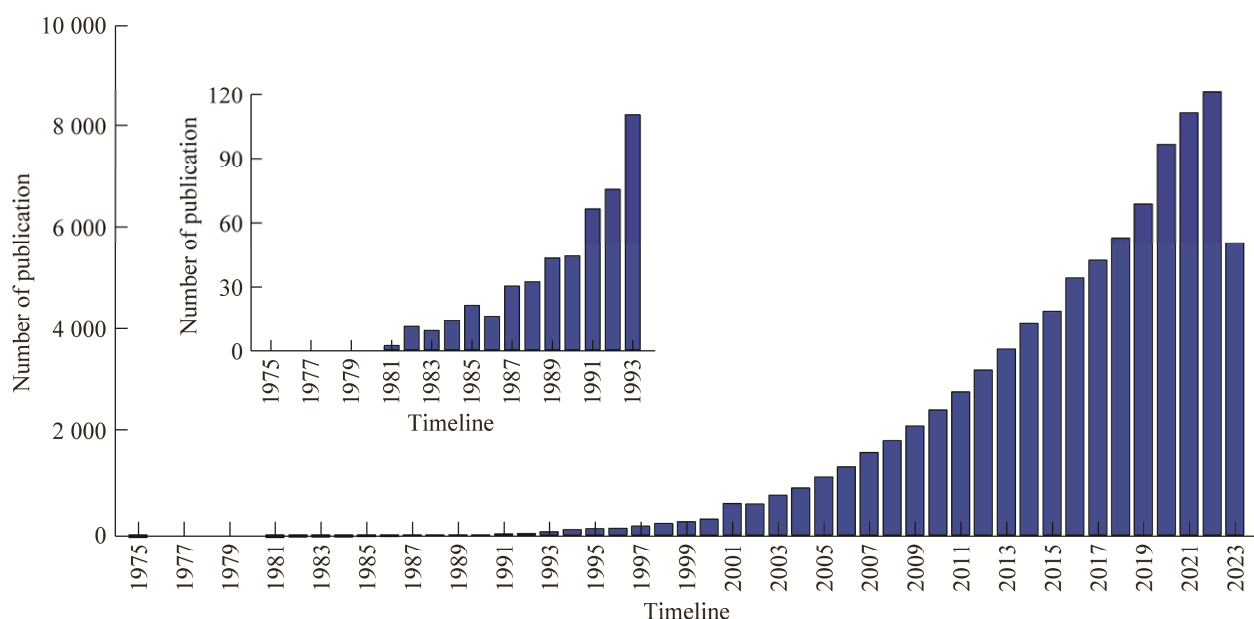


图 1 PubMed 数据库中每年收录的关于“biofilm”论文数量

Figure 1 Numbers of annual publication about “biofilm” from PubMed database.

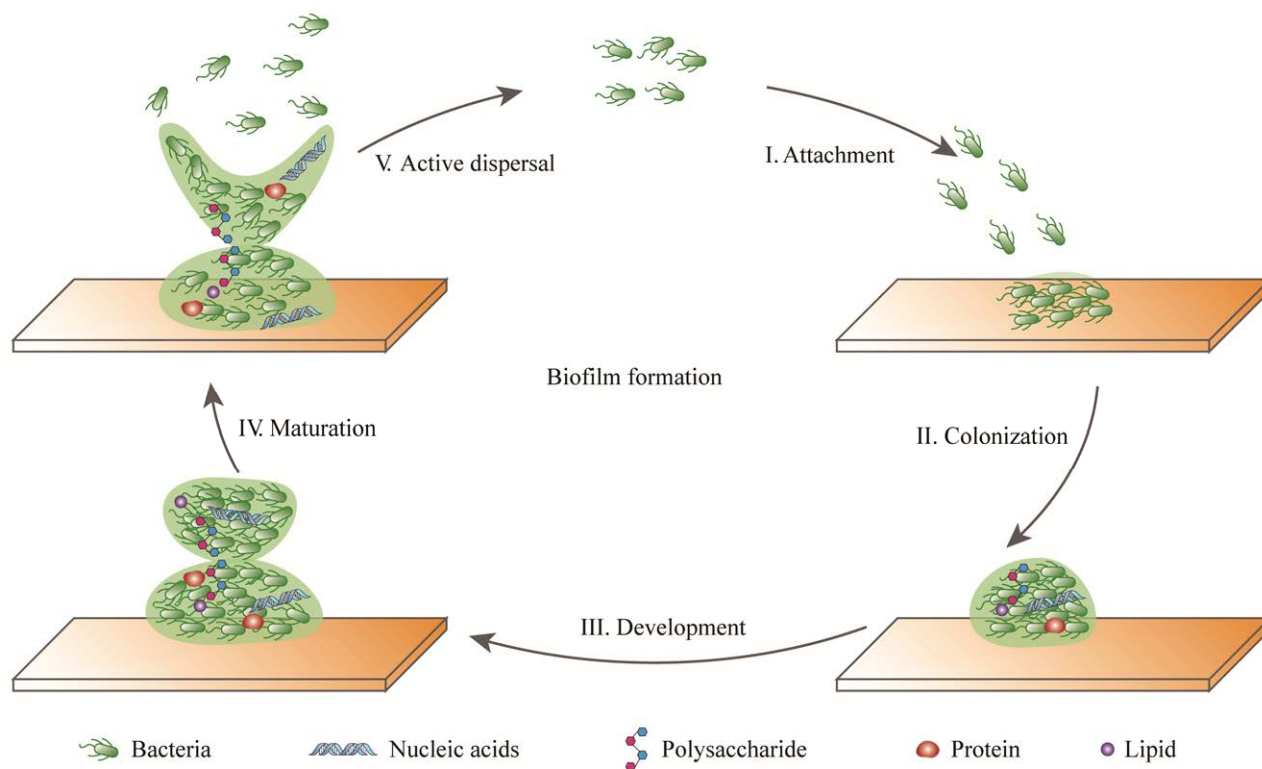


图 2 “Biofilm”形成模式图 “Biofilm”的形成包括黏附、定殖、发育、成熟与主动消散五个过程

Figure 2 Model of “biofilm” formation. The “biofilm” formation mainly includes five stages: attachment, colonization, development, maturation and active dispersal.

的“蘑菇状”的三维立体结构,其中包含大量通道,用于运送养料、酶、代谢产物和排出废物等^[13]; (5) 主动消散:细菌细胞在内外因素的相互作用下成团分离或单个分离,“破茧成蝶”,散布的细菌重新变为浮游细菌,进入下一个“biofilm”循环^[14]。

在这一动态过程中,黏附是“biofilm”形成的开始,而主动消散不是“biofilm”的结束,而是下一轮“biofilm”形成的开始。“Biofilm”的不断循环在时空上为细菌造就了大量的“避风港”,赋予了细菌抵抗各种环境胁迫的能力。由此可见,“biofilm”是具备多重功能的“动态细菌组织”,而不仅仅是一个有组织的“细菌群落”或有结构的“细菌聚集体”。

1.3 “Biofilm”的生理功能

“Biofilm”是一种结构复杂、功能多样的“动态细菌组织”,是细菌的“风水宝地”,可帮助细菌抵抗恶劣的外界环境,是大部分细菌的主要生活方式^[15]。与浮游细菌相比,“biofilm”中细菌的生长速率、代谢和基因表达均发生显著改变。嵌入“biofilm”中的细菌代谢活性降低,且形成的屏障可以保护内部细菌免受药物和宿主免疫系统的杀伤与清除^[16]。

“Biofilm”广泛存在于我们的生活中,其存在是一把“双刃剑”。一方面,“biofilm”给公共卫生和社会经济构成了极大威胁。临床上,“biofilm”可形成于各种生物置入材料表面及体内黏膜表面,具有极强的耐药性及免疫逃避性,是造成临床慢性感染的主要原因之一^[17];在食品加工中,食源性病原菌常以“biofilm”的形式黏附在食品或加工设备表面,增强细菌对各种环境胁迫的耐受力,引发食品安全问题,威胁人类健康^[18]。另一方面,“biofilm”更利于益生菌在宿主体内的存活及定殖。“biofilm”中的益生菌能通过多种方式与其他种群细菌竞争资

源,在保证自身种群延续的同时阻止病原菌在体内存活,从而发挥益生作用,促进宿主健康^[19-20]。因此,研究“biofilm”的形成过程及调控机制对病原菌的防控与益生菌的利用都具有重要意义,越来越多的科学研究也聚焦于此^[21-24]。

2 “生物被膜”和“生物膜”的使用现状

2.1 “生物被膜”和“生物膜”的差异

“被”本义就是被子,“被”用作被子,有广义和狭义之分。广义的“被”泛指被子。狭义的“被”则是与“衾”相对而言,“衾”指大被,“被”指小被。“被”也有蒙覆之义,引申而有表面、覆盖、施加、遭受等义^[25]。由此可见,“被膜”有“覆盖的膜”的意思。而“Biofilm”中 film 的本义也指在固体表面上形成覆盖的生物层^[26-27]。由于 film 和 membrane 对应的汉字均为“膜”,我们又在 WikiDiff (<https://wikidiff.com/film/membrane>) 上比较了 film 和 membrane 的差异:film 指一种膜状覆盖物;而 membrane 指分隔两个界面的薄膜。由此可见,“膜”不能区分 film 和 membrane;而“被膜”更符合“biofilm”中 film 的中文翻译,很好地区分了 film 和 membrane。

目前,国内教材、期刊和网络等媒体提到“生物被膜”,均指的是“biofilm”;而“生物膜”则有歧义:绝大部分是指“biofilm”,但也有极少数文献指的是“membrane”。这样看来,作为“biofilm”的中文翻译,“生物被膜”准确且严谨,而“生物膜”则有歧义。

2.2 “生物被膜”和“生物膜”的使用现状

在万方数据库(<https://g.wanfangdata.com.cn/>)检索“生物被膜”,学位论文有 53 593 篇,期刊论文有 15 003 篇;检索“生物膜”,学位论文有 10 214 篇,期刊论文有 17 029 篇。在维普资讯

(<http://qikan.cqvip.com/>)检索“生物被膜”, 期刊论文有 12 248 篇; 检索“生物膜”, 期刊论文有 38 461 篇。在中国知网(<https://www.cnki.net/>)检索“生物被膜”与“生物膜”, 前者出现 69 259 条检索项, 后者出现 132 458 条检索项(截止到 2023 年 9 月 4 日)。

我们以中国知网的检索结果为例进行了分类分析。发现“生物被膜”在环境科学与资源利用学科的文章中使用最多, 然后按生物学、基础医学、临床医学、口腔科学、药学、中药学、

有机化工、畜牧与动物医学和轻工业手工业依次递减(图 3)。在主要主题分类中, 有关“biofilm”的文献有 23 180 篇, 占总文献的 33.45%。

“生物膜”也是在环境科学与资源利用学科的文章中使用最多, 其次依次为生物学、基础医学、口腔科学、临床医学、药学、有机化工、中药学、化学和轻工业手工业(图 4)。在主要主题分类中, 有关“biofilm”的文献有 28 484 篇, 占总文献的 21.48%。

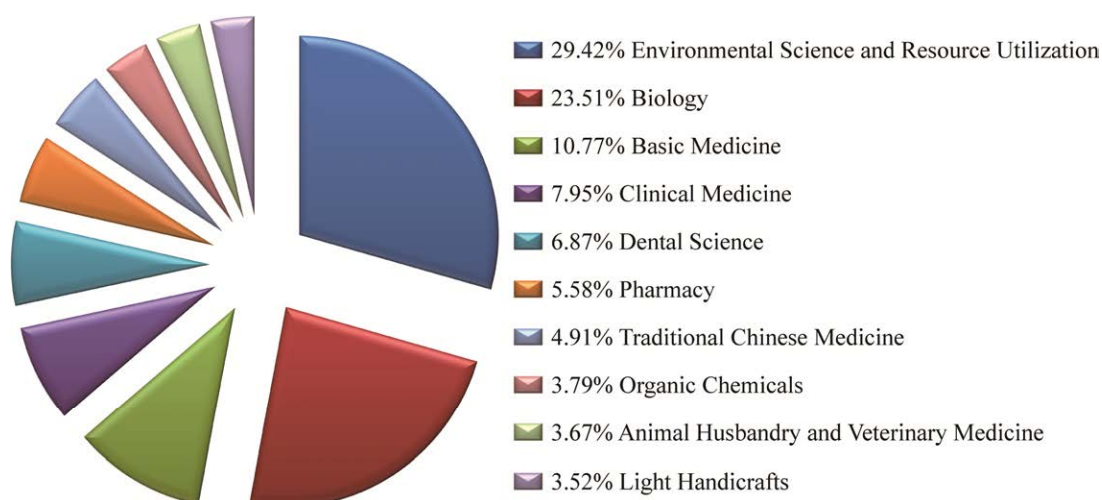


图 3 “生物被膜”的使用状况

Figure 3 The current usage of “biofilm”.

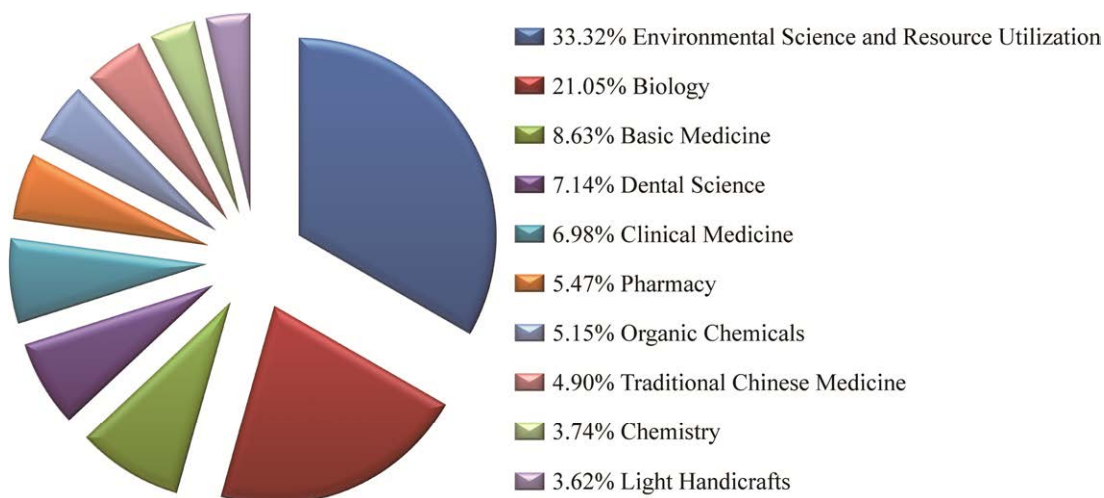


图 4 “生物膜”的使用状况

Figure 4 The current usage of “biofilm”.

尽管针对有关“生物被膜/生物膜”的文章检索可能有所遗漏,但大体可以看出,“生物膜”在环境科学与资源利用学科中使用更多。结合上文对“biofilm”的含义及其过程的阐述,显然“biofilm”译为“生物被膜”更为贴切。

3 总结

科技名词是科学知识传播与交流的载体,其翻译关乎读者对相关领域的正确理解,其规范与统一在一定程度上反映了严谨性和科技水平。针对“biofilm”的中文翻译,有相当一部分环境科学与资源利用领域的研究更倾向于使用“生物膜”不是“生物被膜”。然而,从“被”来斟酌,“生物被膜”更符合对“biofilm”的理解与应用,这里也号召大家规范使用“生物被膜”,期望本文的分析与讨论可为“biofilm”正确的中文翻译提供重要依据。

REFERENCES

- [1] SAUER K, STOODLEY P, GOERES DM, HALL-STOODLEY L, BURMØLLE M, STEWART PS, BJARNSHOLT T. The biofilm life cycle: expanding the conceptual model of biofilm formation[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2022, 20(10): 608-620.
- [2] STOODLEY P, SAUER K, DAVIES DG, COSTERTON JW. Biofilms as complex differentiated communities[J]. *Annual Review of Microbiology*, 2002, 56: 187-209.
- [3] KARYGIANNI L, REN Z, KOO H, THURNHEER T. Biofilm matrixome: extracellular components in structured microbial communities[J]. *Trends in Microbiology*, 2020, 28(8): 668-681.
- [4] WESTALL F, de WIT MJ, DANN J, van der GAAST S, de RONDE CEJ, GERNEKE D. Early Archean fossil bacteria and biofilms in hydrothermally-influenced sediments from the Barberton greenstone belt, South Africa[J]. *Precambrian Research*, 2001, 106(1/2): 93-116.
- [5] RASMUSSEN B. Filamentous microfossils in a 3, 235-million-year-old volcanogenic massive sulphide deposit[J]. *Nature*, 2000, 405(6787): 676-679.
- [6] DONLAN RM, COSTERTON JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms[J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 2002, 15(2): 167-193.
- [7] COSTERTON JW, GEESEY GG, CHENG KJ. How bacteria stick[J]. *Scientific American*, 1978, 238(1): 86-95.
- [8] SHARAH JY, AZIMI T, SHARIATI A, SAFARI H, TEHRANI MK, HASHEMI A. Advanced strategies for combating bacterial biofilms[J]. *Journal of Cellular Physiology*, 2019, 234(9): 14689-14708.
- [9] YIN W, WANG YT, LIU L, HE J. Biofilms: the microbial protective clothing in extreme environments[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(14): 3423.
- [10] BOS R, MEI HCVD, BUSSCHER HJ. Physico-chemistry of initial microbial adhesive interactions-its mechanisms and methods for study[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 1999, 23(2): 179-230.
- [11] LAVERTY G, GORMAN S, GILMORE B. Biomolecular mechanisms of *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* biofilm formation[J]. *Pathogens*, 2014, 3(3): 596-632.
- [12] FLEMMING HC, WINGENDER J. The biofilm matrix[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8(9): 623-633.
- [13] DUFOUR D, LEUNG V, LÉVESQUE CM. Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance[J]. *Endodontic Topics*, 2010, 22(1): 2-16.
- [14] THI MTT, WIBOWO D, REHM BHA. *Pseudomonas aeruginosa* biofilms[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(22): 8671.
- [15] ALEKSANDROWICZ A, CAROLAK E, DUTKIEWICZ A, BŁACHUT A, WASZCZUK W, GRZYMAJLO K. Better together-*Salmonella* biofilm-associated antibiotic resistance[J]. *Gut Microbes*, 2023, 15(1): 2229937.
- [16] WANG XY, CAO ZP, ZHANG MM, MENG L, MING ZZ, LIU JY. Bioinspired oral delivery of gut microbiota by self-coating with biofilms[J]. *Science Advances*, 2020, 6(26): eabb1952.
- [17] JAKUBOVICS NS, GOODMAN SD, MASHBURN-WARREN L, STAFFORD GP, CIEPLIK F. The dental plaque biofilm matrix[J]. *Periodontology 2000*, 2021, 86(1): 32-56.
- [18] MØRETRØ T, LANGSRUD S. Residential bacteria on surfaces in the food industry and their implications for food safety and quality[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16(5): 1022-1041.
- [19] KOBAYASHI K. Diverse LXG toxin and antitoxin

- systems specifically mediate intraspecies competition in *Bacillus subtilis* biofilms[J]. PLoS Genetics, 2021, 17(7): e1009682.
- [20] EREGA A, STEFANIC P, DOGSA I, DANEVČIČ T, SIMUNOVIC K, KLANČNIK A, SMOLE MOŽINA S, MANDIC MULEC I. Bacillaene mediates the inhibitory effect of *Bacillus subtilis* on *Campylobacter jejuni* biofilms[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2021, 87(12): e0295520.
- [21] YIN W, XU SY, WANG YT, ZHANG YL, CHOU SH, GALPERIN MY, HE J. Ways to control harmful biofilms: prevention, inhibition, and eradication[J]. Critical Reviews in Microbiology, 2021, 47(1): 57-78.
- [22] GALLUCCI S. The *Vibrio cholerae* maneuver[J]. Trends in Immunology, 2023, 44(8): 565-567.
- [23] SCHILCHER K, HORSWILL AR. Staphylococcal biofilm development: structure, regulation, and treatment strategies[J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2020, 84(3): e00026-19.
- [24] LIU XB, CAO B, YANG L, GU JD. Biofilm control by interfering with c-di-GMP metabolism and signaling[J]. Biotechnology Advances, 2022, 56: 107915.
- [25] 傅永和, 李玲璞, 向光忠. 汉字演变文化源流[M]. 广州: 广东教育出版社, 2012.
- FU YH, LI LP, XIANG GZ. Cultural Origin of Chinese Character Evolution[M]. Guangzhou: Guangdong Education Press, 2012 (in Chinese).
- [26] FLEMMING HC, BAVEYE P, NEU TR, STOODLEY P, SZEWZYK U, WINGENDER J, WUERTZ S. Who put the film in biofilm? The migration of a term from wastewater engineering to medicine and beyond[J]. Npj Biofilms and Microbiomes, 2021, 7: 10.
- [27] LIU XB, QIAN YF, WU FS, WANG YL, WANG WF, GU JD. Biofilms on stone monuments: biodeterioration or bioprotection?[J]. Trends in Microbiology, 2022, 30(9): 816-819.