纳米生物学的研究现状与关键科学问题

焦健¹, 范克龙², 胡志刚³, 杜鹏^{1*}

1. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190;

2. 中国科学院生物物理研究所, 北京 100101;

3. 大连理工大学科学与科技管理研究所, 大连 116024

* 联系人, E-mail: dupeng@casipm.ac.cn

收稿日期: 2019-12-28; 接受日期: 2020-04-03; 网络版发表日期: 2020-06-04

国家自然科学基金-中国科学院学部学科发展战略研究联合部署项目(批准号: XK2017SMC01)、中国科学院学部学科发展战略研究自主部署项目(批准号: 2017-SM-A-02)和中国科学院科技战略咨询研究院青年基金(批准号: Y8X1261Q01)资助

摘要 作为一门交叉学科, 纳米生物学成为当前生命科学研究在纳米尺度上的前沿与热点. 本文从文献计量学的视角, 分析了近年来纳米生物学领域的论文发表数量和被引用情况, 重点关注了纳米生物医学、纳米生物材料、纳米生物化学和纳米生物物理4个主要分支领域的基本情况和研究主题, 呈现了纳米生物学可视化的知识图谱; 并结合战略研讨和专家研判, 凝练获得了纳米生物学6个方面的关键科学问题, 以期为纳米生物学未来的研究思路提供参考.

关键词 纳米生物学, 研究现状, 关键科学问题, 文献计量

纳米生物学是在纳米尺度上对生命现象和生物学规律开展研究的一门学科. 生物体内存在着各种生物分子或由其组成的结构, 其特征尺寸大多在1~100 nm, 它们是复杂的和具有生物活性的纳米体系或结构. 研究这些纳米尺度的分子结构、规律特点及其在生命现象中的功能, 涉及到极其广泛的学科领域和范畴, 例如生物^[1]、化学^[2,3]、材料^[4]、物理^[5]和医学^[6~10]等, 并形成了纳米生物学多学科交叉的一大特点. 特别是在完成具有划时代意义的人类基因组测序工作的后基因时代, 纳米生物学相关的基础研究和应用研究已成为现代生物学的研究热点. 纳米生物学中的“纳米”, 不仅意味着空间尺

度, 而且提供了一种对生命科学相关学科的全新认识方法和实践方法. 纳米技术本身就是一种使能技术, 生物学所涉及的各个领域利用纳米技术或者是在纳米尺度下研究生物学问题、解释生物学现象的, 广义上都应隶属于纳米生物学的范畴, 可见纳米生物学最显著的特点就是学科交叉和应用广泛. 因此, 本文所涉及的纳米生物学的发展现状, 关注的是更为广泛的学科领域和文献计量范围, 且为了更全面地展现纳米生物学领域的分布及概况, 选取了纳米生物医药、纳米生物材料、纳米生物化学和纳米生物物理4个子分支研究领域重点加以分析.

引用格式: 焦健, 范克龙, 胡志刚, 等. 纳米生物学的研究现状与关键科学问题. 中国科学: 生命科学, 2020, 50: 778–787

Jiao J, Fan K L, Hu Z G, et al. Research status and key scientific issues of nanobiology (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2020, 50: 778–787, doi: [10.1360/SSV-2019-0296](https://doi.org/10.1360/SSV-2019-0296)

1 文献检索策略和专家研判策略

1.1 纳米生物学文献计量数据来源

在Web of Science数据库中, 输入检索式“TS=nano*”, 得到在标题、摘要和关键词中包含“nano*”一词的SCI论文共计143万余篇, 这些论文代表纳米领域的论文总量. 从近年来的文献数据来看, 目前包含纳米的论文约占全部SCI论文总量的10%左右.

由于纳米生物学涉及到较多学科领域, 如生物、化学、材料、物理、农学和医学等, 本文在构建文献计量分析数据库时, 首先征询了纳米生物学相关领域的诸多专家学者和文献情报专家的意见, 经过研讨总结出可以作为文献数据搜索的关键词和可以整刊入选数据库的期刊, 以此作为数据库构建的基础. 其中, 关键词包括: 纳米医学、纳米材料、纳米生物材料、纳米毒理、纳米生物仿生、纳米治疗、纳米工程、纳米诊断、纳米病理学、纳米诊疗、纳米影像、纳米结构生物学、纳米生理学、纳米载体、纳米界面生物学、纳米手术、纳米药物载体、纳米尺度生物学、纳米结构.

可整刊入选数据库的期刊包括: *Nanobiology*, *Journal of Research on Nanoscale Living Systems*, *Nature Nanotechnology*, *Advanced Materials*, *Nano Letters*, *ACS Nano*, *Nano Today*, *Advanced Functional Materials*, *Chemical Reviews*, *Chemical Society Reviews*, *Accounts of Chemical Research*, *Angewandte Chemie-International Edition*, *Nano Research*, *Nanoscale*, *Biomaterials*, *Acta Biomaterialia*, *Biomaterials Science*, *Nanotechnology*, *Biomedical Materials*, *Journal of Biomedical Materials Research*, *Nano-Micro Letters*, *Bioinspiration & Biomimetics*, *Small*, *Nanotoxicology*, *Nanoscale*, *Biosensors & Bioelectronics*, *ACS Applied Materials & Interfaces*, *Nanomaterials*, *Advanced Science*, *Advanced Healthcare Materials*, *Nanomedicine-Nanotechnology Biology and Medicine*, *Nanomedicine*, *Biomacromolecules*, *International Journal of Nanomedicine*, *Journal of Nanobiotechnology*, *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *Nanomaterials and Nanotechnology*, *Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology*, *Journal of Nanotech-*

nology, *Nanomedicine & Nanobiotechnology*, *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, *Nanomedicine and Nanobiology*, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, *Journal of Nanobiotechnology*, *Nature Catalysis*.

基于上面这些关键词和可以整刊入选数据库的期刊, 检索Web of Science数据库并除重后, 得到约32万条文献. 接下来基于纳米生物学多学科交叉的特点(生物、化学、材料、物理、农学和医学等)和学科类别, 精炼出纳米生物学领域的论文集合. 由于在Web of Science数据库中涉及一个包含250多个类别的学科分类框架, 每个SCI期刊根据其载文的内容被划分到一个或多个学科类别中. 本团队发现, 纳米领域的论文主要集中在物理学、化学、材料学、生命科学与医学等5大领域. 为了得到纳米生物学领域的论文, 本团队通过筛选出生物学相关的学科, 包括生物材料(Biomaterials)、生物化学(Biochemistry)、生物物理学(Biophysics)、生物技术(Biotechnology)和医药学(Pharmacology)等, 最终得到SCI论文15.4万余篇, 约占全部纳米领域论文总量的10%左右.

1.2 专家研判策略

基于纳米生物学学科发展战略研究模式, 战略研究工作组召集了来自纳米、生物、化学、材料、物理、情报、管理、计算等多学科交叉领域的专家和纳米生物技术转化应用的企业界代表, 建立了以院士、杰青、优青、973/863首席、长江学者、千人/百人计划获得者、一线中青年骨干等为核心的专家库. 通过战略研讨会、邮件征集、问卷调查、专家咨询、头脑风暴、在线投票等形式, 针对纳米生物学的核心研究议题, 开展了共识性研讨和前瞻性研判, 并重点采取多轮次迭代研讨的方式逐步凝聚专家共识, 最终获得了该领域未来的发展方向和关键科学问题.

此外, 我们还提出了关键科学问题的研判准则, 包括: (i) 必须是关于纳米生物学的核心概念; (ii) 具有广泛的科学价值和社会意义; (iii) 能够促进相关研究领域的发展和相关技术的进步; (iv) 问题必须是运用现有方法和数据源或预期能在未来几年内获得的方法和数据源能够回答的, 问题的解决(或取得重大进展)必须具有一定的可能性.

2 纳米生物学的论文分析

2.1 年份分布

截至2018年底, 纳米生物学领域发表SCI论文共计15.4万余篇, 约占全部纳米领域论文总量的10%左右. 论文的发文量呈直线上升趋势, 从1991年的240余篇上升到2018年的近1.7万篇, 增长了约70倍, 平均年增长率约为28%; 尤其在2004年, 更是高达44.1%. 在最近10年, 增长势头虽然有所下降, 但仍然保持在年均10%左右的增长速度(图1).

2.2 国家/地区情况

经文献分析发现, 中国和美国是纳米生物学领域发文量最高的两个大国, 这两个国家合计贡献了纳米生物学领域SCI论文量的48.9%. 在纳米生物学领域的全部15.4万篇SCI论文中, 包含来自美国科学家的论文约4.1万篇, 约占全部论文量的26.7%; 包含来自中国大陆科学家的论文约3.5万篇, 约占全部论文量的22.6%. 此外, 德国和印度两个国家位居第二梯队, 其发文量也在1万篇以上; 而韩国、日本、英国、法国、意大利等国家的发文量也都超过了6000篇, 是纳米生物学研究的第三梯队. 其他排名在前20的国家或地区还包括伊朗、西班牙、加拿大、澳大利亚、中国台湾等

(表1).

从论文被引数据来看, 美国以174万次的被引总量和43次的篇均被引量, 远超其他国家. 中国的被引总量约为88万次, 约为美国这一指标的1/2左右, 篇均被引量为25.2次/篇, 较美国偏低但高于印度、伊朗、中国台湾、巴西等. 从篇均被引来看, 除美国外, 新加坡、瑞士、荷兰、法国和德国的篇均被引量也比较高, 表现出较强的研究实力和影响力.

3 纳米生物学的主要研究领域分析

3.1 总体情况

依据Web of Science数据库中的学科分类系统, 可以将纳米生物学领域的论文进一步细化到如下几个子学科或分支领域, 包括生物化学与分子生物学、药理学与药剂学、生物材料学、生物物理学等, 这几个领域也是生物学和医学领域中发表纳米论文最多的几个学科, 是纳米生物学的主要分支学科. 下文分别就这些子学科进行文献计量分析.

在纳米生物学领域, 发文量最高的三个学科为生物化学与分子生物学(34142篇)、药理学与药剂学(34011篇)和生物材料学(29700篇), 分别属于生物与材

图1 纳米生物学领域的SCI论文增长趋势图

Figure 1 Growth trend of SCI papers in the field of nanobiology

表 1 纳米生物学领域论文发表或被引用的国家或地区情况**Table 1** Countries or regions in which papers on nanobiology have been published or cited

国家或地区	发文量(篇)	被引量(次)	篇均被引量(次)	平均年份
美国	40542	1741726	43.0	2011.2
中国(不含台湾)	34714	876316	25.2	2014.1
德国	10678	390722	36.6	2011.2
印度	10123	221025	21.8	2013.6
韩国	7702	210637	27.3	2013.0
日本	7175	225036	31.4	2011.2
英国	7166	252634	35.3	2011.8
法国	6546	240496	36.7	2010.8
意大利	6456	162925	25.2	2012.4
伊朗	4849	70000	14.4	2014.9
西班牙	4743	130527	27.5	2012.8
加拿大	4375	147672	33.8	2011.4
澳大利亚	3616	100903	27.9	2013.3
中国台湾	3047	74369	24.4	2012.9
新加坡	2878	137494	47.8	2012.9
巴西	2794	41538	14.9	2013.1
荷兰	2593	97268	37.5	2011.8
瑞士	2583	101821	39.4	2011.6
瑞典	2113	64404	30.5	2012.0
葡萄牙	1929	44877	23.3	2013.7

料学、医药学、化学的交叉领域. 此外, 生物技术与应用微生物学(22410篇)、生物物理学(20754篇)、生物医学工程(16830篇)等子学科的论文量也比较高(表2). 需要注意的是, 本章节所涉及的学科领域分类划分, 依据为Web of Science数据库中的学科分类系统, 但由于该数据库对于文章/期刊划分时, 可能存在同时划分到多个不同学科的情况, 因此这些子学科之间存在一定的交叉.

为了系统呈现纳米生物学的研究领域分布及态势, 本文选取纳米生物医药、纳米生物材料、纳米生物化学和纳米生物物理4个分支研究领域加以重点分析. 图2展现了1991年以来这4个分支领域的发文量, 及其在整个纳米生物学领域的论文占比情况.

从发文量来看, 所有4个领域的年发文量都保持平稳增长态势, 但从各分支领域在纳米生物学中的占比来看, 波动比较大. 在2005年之前, 各分支领域的占比变化更为明显, 在2005年之后各分支领域的占比趋于

表 2 纳米生物学的主要子学科领域及其SCI论文量**Table 2** Major sub-disciplinary fields of nanobiology and the number of SCI papers

SCI学科分类	发文量(篇)	占比
生物化学与分子生物学	34142	22%
药理学与药剂学	34011	22%
生物材料学	29700	19%
生物技术与应用微生物学	22410	14%
生物物理学	20754	13%
生物医学工程	16830	10%

稳定. 相对来说, 纳米生物材料领域呈现出强劲的增长态势, 从1990年的不到5%, 增长到2013年之后的27%以上; 而纳米生物化学领域的占比则一直下降, 从1990年的40%以上, 下降到2018年的20%左右; 相对来说, 纳米生物医药和纳米生物物理两个领域的占比变化不大. 目前, 纳米生物医药和纳米生物材料两个领

图2 纳米生物学各分支领域的SCI论文量及占比

Figure 2 Number and proportion of SCI papers in each branch of nanobiology

域的年发文量比较高,都超过了4300篇;纳米生物化学的发文量约为3500篇,纳米生物物理领域的发文量约为2200篇,相对较低。

3.2 纳米生物医药

纳米生物医药领域是纳米生物学的主要分支领域之一,也是纳米生物学研究的主要应用方向,涵盖了纳米技术在医药领域的基础研究和一般应用研究。目前,纳米生物医药主要关注药物输送、药物控释、纳米毒性等问题,其中解决癌症诊断和治疗中的关键问题是纳米生物医药领域关注的重点^[11]。从已发表论文的主题、关键词和共被引关系分析,纳米生物医药领域的主要研究主题包括:基因治疗与基因传递、癌症治疗与纳米医学、纳米生物效应与毒性、肽类药物的给药系统、透皮药物的输送系统和纳米混悬剂与难溶药输送(图3)。

分析纳米生物医药领域的发文期刊发现,论文发表量最高的三个期刊分别是*International Journal of Pharmaceutics*, *International Journal of Nanomedicine*, *Journal of Controlled Release*, 其载文量都超过了3000篇,远超过其他期刊。其次是*Molecular Pharmaceutics*, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, *Pharmaceutical Research*, 这三个期刊的载文量也都超过了1000篇。

3.3 纳米生物材料

纳米生物材料领域是纳米生物学目前发展最快的分支领域,主要研究纳米生物材料的制备、检测和应用等问题^[12,13]。在制备方面,静电纺丝技术是制备纳米纤维支架的主要方法,被广泛应用于组织工程、纳米材料、传感界面等领域中。纳米复合材料可以应用于骨再生领域。自组装技术也是当前纳米生物材料中

图 3 纳米生物医药领域的主要研究主题
Figure 3 Main research topics in nano-biomedicine

的重要研究领域之一, 自组装材料具有良好的生物相容性和生物可降解性, 可广泛应用到药物输送当中。在纳米材料的性能检测方面, 科学家发明了很多纳米级力学测试的仪器, 例如纳米压痕仪、原子力学显微镜和扫描探针声学显微镜等, 其中, 纳米压痕方法可以在纳米尺度上测量羟基磷灰石生物材料的硬度等各种力学指标, 已经成为组织工程领域的重要技术手段。在应用方面, 纳米生物材料可以用于癌症的诊断和医疗, 在药物输送、光热疗法、光动力疗法等方面发挥重要作用, 但是如何克服纳米生物材料的生物相容性和毒性等问题, 也是科学家们不得不面对的关键技术难题。本文分析发现, 纳米生物材料领域的主要研究主题包括: 生物材料力学性能检测、组织工程与纳米纤维支架、自组装纳米生物材料、纳米材料生物效应与毒性、纳米材料生物相容性、纳米材料与癌症诊断

治疗(图4)。

分析纳米生物材料领域的发文章期刊发现, 论文发表量最高的4个期刊分别是 *Biomaterials*, *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces*, *Materials Science & Engineering C-Materials For Biological Applications* 和 *Journal of Materials Chemistry B*, 其载文量均高于3000篇。载文量超过1000篇的还有 *Acta Biomaterialia*, *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, *Journal of Materials Science-Materials in Medicine* 等期刊。

3.4 纳米生物化学

纳米生物化学是纳米生物学的传统优势分支学科, 曾在纳米生物学的发展过程中担当重要角色。目前, 纳米生物化学主要关注电化学生物传感器、癌症

图4 纳米生物材料领域的主要研究主题

Figure 4 Main research topics in nano-biomaterials

治疗中的荧光成像诊断与光动力治疗技术、药物输送和基因输送等生物学与化学领域的交叉问题^[14]。纳米生物化学与纳米生物医药、纳米生物材料虽然在研究领域和科学问题上多有交叉,但是更侧重于方法层面和理论层面。研究发现,纳米生物化学领域的主要研究主题包括:纳米材料与生物传感器、纳米生物材料与生物相容性、纳米抗菌活性与毒性、DNA纳米结构自组装技术、癌症诊断治疗与药物输送、分子动力学与细胞成像(图5)。

分析纳米生物化学领域的发期刊发现,论文发表量最高的4个期刊分别是*Biomacromolecules*, *Inter-*

national Journal of Biological Macromolecules, *Bioconjugate Chemistry*和*Journal of Biological Chemistry*, 其载文量都超过了1000篇。

3.5 纳米生物物理

纳米生物物理是纳米生物学的传统子学科,主要研究纳米生物技术中的关键物理学问题。由于纳米材料本身就具有电效应、磁效应等物理特性,因此借助物理学的理论和方法可以研究纳米粒子的生物效应、功能和毒性。目前,纳米生物物理主要关注生物传感器、微电机与分子生物物理学、分子动力学与自组

图 5 纳米生物化学领域的主要研究主题
Figure 5 Main research topics in nano-biochemistry

装、癌症治疗与纳米材料毒性、组织工程中的力学问题等^[15,16]。从已发表的相关论文来看, 纳米生物物理领域的主要研究主题包括: 组织工程材料力学性能检测、癌症治疗与纳米毒性研究、分子动力学与膜蛋白研究、分子生物物理学与微电机、适配体电化学生物传感器、葡萄糖电化学生物传感器(图6)。

分析纳米生物物理领域的发文期刊发现, 论文发表量最高的3个期刊分别是 *Biosensors & Bioelectronics*, *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces* 和 *Biophysical Journal*, 其载文量都超过了3000篇, 远超其他相关

学术期刊。

4 纳米生物学的关键科学问题和展望

纳米生物学未来的发展方向, 是这一新兴交叉学科领域科研工作者最为关心的问题, 同时也是纳米生物学科战略研究的核心工作。为此, 本文采用文献计量学和专家研讨相结合的方式, 按照“有限目标、突出重点”的总体要求, 结合国际发展趋势、国家科技发展需求、纳米生物学自身发展规律分析, 逐步凝练关

图6 纳米生物物理领域的主要研究主题
Figure 6 Main research topics in nano-biophysics

键科学问题、凝聚战略共识, 最终判断纳米生物学领域未来的关键科学问题包括以下6个方面: (i) 从纳米尺度揭示生命科学现象的意义究竟在哪里; (ii) 新型纳米生物器件和诊断手段对健康监测和疾病诊疗的意义有哪些; (iii) 研究材料在纳米尺度与生物组织、细胞之间存在哪些相互作用; (iv) 纳米生物材料及其技术将为人类重大疾病的治疗带来哪些突破; (v) 纳米生物技术的成果及其转化将对人类健康和产业经济带来什么影响; (vi) 怎样从纳米酶理解无机材料的“生命”价值。

随着认识的加深, 人们发现构成生命系统的基本单元——细胞及其内含物都是纳米尺度的。因此, 研究纳米尺度生命相关物质的组装、结构及其新特性, 以纳米尺度的视角和多学科的宏观角度进一步审视和理解生命过程, 可能会发现新的现象、新的机制和潜在应用价值^[17-19]。进入21世纪以来, 纳米技术和生物技术是当前发展非常迅速的两大研究领域, 生命科学的研究开始集成纳米尺度下的“秘密”, 这两个领域都存在无限潜力, 如果这两个领域的交叉——纳米生物学, 能够实现更多更深入的融合, 将产生难以估量的效能。

参考文献

- Gao L, Zhuang J, Nie L, et al. Intrinsic peroxidase-like activity of ferromagnetic nanoparticles. *Nat Nanotech*, 2007, 2: 577–583
- Wei H, Wang E. Fe₃O₄ magnetic nanoparticles as peroxidase mimetics and their applications in H₂O₂ and glucose detection. *Anal Chem*, 2008, 80: 2250–2254

- 3 Sun H, Zhou Y, Ren J, et al. Carbon nanozymes: Enzymatic properties, catalytic mechanism, and applications. *Angew Chem Int Ed*, 2018, 57: 9224–9237
- 4 Sun H, Gao N, Dong K, et al. Graphene quantum dots-band-aids used for wound disinfection. *ACS Nano*, 2014, 8: 6202–6210
- 5 Luo X, Morrin A, Killard A J, et al. Application of nanoparticles in electrochemical sensors and biosensors. *Electroanalysis*, 2006, 18: 319–326
- 6 Duan D, Fan K, Zhang D, et al. Nanozyme-strip for rapid local diagnosis of Ebola. *Biosens Bioelectron*, 2015, 74: 134–141
- 7 Fan K, Cao C, Pan Y, et al. Magnetoferritin nanoparticles for targeting and visualizing tumour tissues. *Nat Nanotech*, 2012, 7: 459–464
- 8 Fan K, Xi J, Fan L, et al. *In vivo* guiding nitrogen-doped carbon nanozyme for tumor catalytic therapy. *Nat Commun*, 2018, 9: 1440
- 9 Shcherbakov A B, Zholobak N M, Spivak N Y, et al. Advances and prospects of using nanocrystalline ceria in cancer theranostics. *Russ J Inorg Chem*, 2014, 59: 1556–1575
- 10 Goenka S, Sant V, Sant S. Graphene-based nanomaterials for drug delivery and tissue engineering. *J Control Release*, 2014, 173: 75–88
- 11 Jebali A, Nayeri E K, Roohana S, et al. Nano-carbohydrates: Synthesis and application in genetics, biotechnology, and medicine. *Adv Colloid Interface Sci*, 2017, 240: 1–14
- 12 Cai X, Dong J, Liu J, et al. Multi-hierarchical profiling the structure-activity relationships of engineered nanomaterials at nano-bio interfaces. *Nat Commun*, 2018, 9: 4416
- 13 Saracino G A A, Cigognini D, Silva D, et al. Nanomaterials design and tests for neural tissue engineering. *Chem Soc Rev*, 2013, 42: 225–262
- 14 Lanzani G. Organic electronics meets biology. *Nat Mater*, 2014, 13: 775–776
- 15 Wu S J, Boghossian A A. Living on the edge: Re-shaping the interface of synthetic biology and nanotechnology. *Chimia (Aarau)*, 2016, 70: 773–779
- 16 Perret G, Ginet P, Tarhan M C, et al. Nano systems and devices for applications in biology and nanotechnology. *Solid State Electron*, 2016, 115: 66–73
- 17 Kroll A. Nanobiology—Convergence of disciplines inspires great applications. *Cell Mol Life Sci*, 2012, 69: 335–336
- 18 Doktycz M J, Simpson M L. Nano-enabled synthetic biology. *Mol Syst Biol*, 2007, 3: 125
- 19 Bai X, Liu F, Liu Y, et al. Toward a systematic exploration of nano-bio interactions. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2017, 323: 66–73

Research status and key scientific issues of nanobiology

JIAO Jian¹, FAN KeLong², HU ZhiGang³ & DU Peng¹

¹ Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

² Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

³ Institute of Science and Technology Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

As an interdisciplinary discipline, nanobiology has become the research frontiers and hotspot of current life science on the nanoscale. Based on the perspective of bibliometrics, this paper analyzes the number of papers published in the field of nanobiology in recent years and their citations. It focuses on the basics of the four main branches of nanobiomedicine, nanobiomaterials, nanobiochemistry and nanobiophysics. The situation and research topics present a visualized knowledge map of nanobiology. Combined with strategic discussions and expert judgments, the key scientific issues in six aspects of nanobiology have been condensed, with a view to providing references for future research ideas of nanobiology.

nanobiology, research status, key scientific issues, bibliometrics

doi: 10.1360/SSV-2019-0296