

# TỔNG QUAN HOẠT TÍNH KHÁNG KHUẨN CỦA VẬT LIỆU NANO TRONG CÁC SẢN PHẨM TIÊU DÙNG VÀ THỰC PHẨM, VÀ TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG VẬT LIỆU NANO Ở VIỆT NAM

NGUYỄN HÀ DIỆU TRANG

*Viện Công nghệ Sinh học & Thực phẩm, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh  
nguyenhadiettrang@iuh.edu.vn*

**Tóm tắt.** Trong những năm gần đây, ứng dụng của vật liệu nano gia tăng trong lĩnh vực khoa học nông nghiệp và thực phẩm. Ngày càng có nhiều ứng dụng của vật liệu nano trong các lĩnh vực khác nhau, và điều này có thể gây ra sự phơi nhiễm của con người và gây ô nhiễm môi trường. Bài báo này nhằm tổng quan các vật liệu nano mới và ứng dụng của chúng trong ngành tiêu dùng và công nghệ thực phẩm. Mục tiêu của bài viết này bao gồm 1) tổng quan các sản phẩm tiêu dùng và thực phẩm có trên thị trường chứa vật liệu nano, đặc biệt là các vật liệu nano vô cơ (vàng, bạc, kẽm oxit, và graphene); 2) các cơ chế kháng khuẩn của vật liệu nano vô cơ; 3) tình hình ứng dụng của vật liệu nano tại Việt Nam. Nhiều kết quả nghiên cứu chứng minh rằng vật liệu nano tương thích sinh học và có tiềm năng được sử dụng trong khoa học nông nghiệp và thực phẩm. Điều này cho thấy cần nhiều nghiên cứu hơn để khai thác các ứng dụng tiềm năng của nó. Dữ liệu cũng cho thấy các vật liệu nano vô cơ có thể được sử dụng như một chất ức chế sự phát triển của vi khuẩn gây bệnh trong thực phẩm. Cần nhiều nghiên cứu hơn để làm sáng tỏ các cơ chế của kháng khuẩn và độc tính của chúng lên tế bào/mô người để mở đường cho vật liệu nano được ứng dụng nhiều và an toàn hơn cho người tiêu dùng.

**Từ khóa:** Vật liệu nano, thực phẩm, bạc nano, graphene

## ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF ENGINEERED NANOPARTICLES AND THEIR APPLICATIONS IN CONSUMER AND FOOD PRODUCTS: A REVIEW AND CURRENT APPLICATIONS OF NANOMATERIALS IN VIETNAM

**Abstract.** There has been increasing application of novel nanomaterials in recent years in various areas, which may cause human exposure and environmental pollution. This review aimed to systematically summarize the use of novel nanomaterials in consumer and food products based on their antibacterial properties. The objectives of this work were to: 1) summarize currently available consumer and food products that contain engineered nanoparticles, 2) study mechanisms of the antibacterial property of engineered nanoparticles, 3) review current applications of engineered nanomaterials in Vietnam. The results demonstrate that many nanoparticles are biocompatible and has a potential to be used in agriculture and food science, indicating that more studies are needed to exploit its potential applications. The summative data also show that nanomaterials can be used as an antimicrobial agent to inhibit the growth of pathogens. More effort is required to further elucidate the antimicrobial mechanism and investigate the cytotoxicity of nanomaterials on human health at hierarchical levels from cellular to the whole organism.

**Keywords:** nanomaterials, food, silver nanoparticles, graphene

### 1 GIỚI THIỆU

Vật liệu nano (VLNN) có những đặc tính riêng biệt mà các vật liệu kích thước micro không có, do đó VLNN đã và đang được sử dụng trong nhiều sản phẩm tiêu dùng và ứng dụng trong sản xuất thực phẩm và đóng gói bao bì. Theo thống kê vào năm 2016 của Woodrow Wilson Inventory, một số lượng lớn các VLNN đã được sử dụng trong thuốc, thực phẩm, bao bì, thực phẩm chức năng, thuốc không cần kê đơn, và các sản phẩm mỹ phẩm, kem đánh răng đến sơn, và quần áo (áo thun và vớ) [1]. Có khoản 1814 sản phẩm tiêu dùng có chứa VLNN và số lượng sản phẩm đã tăng đều trong vòng 5 năm qua. Có 118 sản phẩm trong danh mục thực phẩm và thức uống (chiếm khoảng 6.5%) trong khi đó trong danh mục sức khỏe chiếm nhiều sản phẩm nhất (908 sản phẩm, tương đương 50% tổng số). Nano bạc là vật liệu được tìm thấy nhiều nhất trong danh mục thực phẩm (35.5%) và thường được nhấn mạnh về tính diệt khuẩn của nó. Danh sách các sản phẩm

tiêu dùng có chứa VLNN được lấy từ dữ liệu databases (Nanodatabase, Nanowek, Nanotechproject.org), tài liệu tham khảo, và internet, được thể hiện ở Bảng 1.

VLNN chủ yếu tìm thấy có trong thực phẩm chức năng, bao bì, và phụ gia thực phẩm. Bên cạnh các VLNN vô cơ (bạc, vàng, kẽm oxít, carbon, vân vân), VLNN hữu cơ được sử dụng trong hầu hết trong thực phẩm chức năng ở dạng mixen hoặc dạng viên bao nano. Những vật liệu mang này thường chứa vitamin, hoặc các hợp chất sinh học. Trong thực phẩm, có ba loại polymer có thể sử dụng, bao gồm nano có nguồn gốc chất béo, nano có nguồn gốc từ chất đạm, và nano có nguồn gốc chất bột. Trong số đó, nano có nguồn gốc chất béo hay được sử dụng nhất do nguồn gốc tự nhiên của nó, khả năng chứa được các hợp chất có độ hòa tan khác nhau. Bảng 1 liệt kê các tinh bột là nguyên liệu hay được sử dụng nhiều nhất làm chất vận chuyển trong thực phẩm.

VLNN được sử dụng trong bao bì thường chứa bạc và đất sét. Tương tự như trong thực phẩm chức năng, nano bạc được dùng chính là chất diệt khuẩn trong bao bì, hộp đựng thực phẩm, và vật dụng nhà bếp. Hiện nay, chưa có bạc bỏ trực tiếp vào thực phẩm, tuy nhiên nano vàng lại được bỏ vào trong một sản phẩm rượu tại Đài Loan [1]. Điều này dễ hiểu vì vàng đã được sử dụng hàng ngàn năm trước trong lịch sử. Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) thường được sử dụng làm sắc tố trong các sản phẩm bao gồm thực phẩm và mỹ phẩm vì màu trắng sáng của nó. Đất sét nano được sử dụng nhiều nhất trong việc sản xuất vật liệu bao bì, đặc biệt trong việc làm chai nhựa/thủy tinh để nâng cao sức bền và giảm độ bay hơi hương của vật liệu.

Bảng 1. Các sản phẩm thực phẩm hoặc liên quan đến thực phẩm có chứa VLNN trên thế giới

Danh mục	VLNN	Nhà cung cấp	Công bố thông tin trên nhãn
Thực phẩm bổ sung			
	Bạc nano	Natural-Immunogenics Corp	Hệ keo bạc có nồng độ 10-50 ppm
		Nature City	Có khả năng chống vi khuẩn, vi rút, không độc hại, và phi dược phẩm
		Activz	Hỗ trợ hệ thống làm lạnh tự nhiên của cơ thể
		Fair vital	Nồng độ 500 ppm, tác dụng chống vi khuẩn
		American Biotech Labs	Nồng độ 10 ppm, giúp nâng cao hệ thống miễn dịch
		Silver Support	Nâng cao hệ thống miễn dịch
		Silvix3-Natural Care Products	Nồng độ 10 ppm, giúp nâng cao hệ thống phòng thủ miễn dịch
		Sovereign Silver Nano Hydrosol	Nồng độ 10 ppm, an toàn hỗ trợ hệ thống miễn dịch
		Skybright Natural Health	Nồng độ 6-8 ppm, hỗ trợ hệ thống miễn dịch và khả năng tự làm lạnh tự nhiên
		MesoSilver-Purest Colloids Inc.	Kích thước nhỏ hơn hay bằng 0,65 nm bán kính, nâng cao hệ thống miễn dịch

	ASAP Double strength- American Biotech Labs	Hỗ trợ hệ thống miễn dịch
	SilverBiotics- American Biotech Labs	Hỗ trợ hệ thống miễn dịch
	MaatShop	Hỗ trợ hệ thống miễn dịch
	Allan Sutton	Giúp hỗ trợ mắt, mũi, miệng, họng, và phổi
	Skybright Natural Health	Hỗ trợ loại bỏ vi khuẩn
	Galaxia Nano Technology Limited™	Bảo vệ và chống vi sinh vật
	NanoSil™-10	Dùng cho cholesterol cao, tiêu đường, gút, táo bón, giảm cân, giữ sắc đẹp và các tác dụng khác
	Greenwood Consumer Products	Hỗ trợ hệ thống miễn dịch
Nano-Sized Self- assembled Liquid Structures	NutraLease Ltd.	Vận chuyển các chất như thuốc hay dược phẩm
Nanocarrier/ingre dients	Nanotrim™	Tăng sức khỏe tế bào và giúp đốt chất béo tạo năng lượng
Nanocarrier/ingre dients	Fohow	Sản phẩm chăm sóc sức khỏe tự nhiên
Nano encapsulation	NanoSlim	Giúp giảm cân nhanh hơn
Nanopowder	Nanoceuticals™ Artichoke Nanoclusters- RBC Life Sciences®, Inc.	Giảm lực căng bề mặt của thực phẩm, và của thực phẩm bổ sung, để tăng độ dính ướt và độ hấp thu chất dinh dưỡng
Nanopowder	Nanoceuticals™ Spirulina Nanoclusters- RBC Life Sciences®, Inc	Giảm lực căng bề mặt của thực phẩm, và của thực phẩm bổ sung, để tăng độ dính ướt và độ hấp thu chất dinh dưỡng
Nano encapsulation	Inovate Health Sciences Research, Inc.	Tăng độ hấp thu các chất, giúp các VLNN có khả năng thẩm thấu vào cơ thể
Diatomaceous earth	Bio-Sim-Nano Health Solutions	Tăng cường hệ thống miễn dịch, chống nấm Candida, và giải độc

Silicon	Nanosiliceo Kapseln- Neosino	Không có thông tin	
Au NP	Utopia Silver Supplements Colloidal Gold 8	Không có thông tin	[1]
Au NP (0.65 nm in diameter)	Mesogold - Colloids for Life LLC	Tăng chức năng não và nhận thức	[2]
Au NP	Colloidal Gold- MaatShop	Thông các tắc nghẽn trong cơ thể và do đó kéo dài tuổi thọ	[3]
Zinc	MesoZinc-Purest Colloids Inc.	Giúp da dẻ khỏe mạnh, tái tạo sụn	[4]
Copper	MesoCopper  Purest Colloids Inc.	Thúc đẩy quá trình giúp da khỏe mạnh, tái tạo sụn và gân	[5]
Iridium	Meso Iridium  Purest Colloids Inc.	Thúc đẩy quá trình trao đổi chất của tế bào được cải thiện	[6]
Platinum (10 ppb)	MesoPlatinum  Purest Colloids Inc.	Tăng độ tập trung trí não	[7]
Platinum, and silver	gold Colloidal Golden Platinum-MaatShop	Tối ưu hóa chức năng DNA và bảo vệ cơ thể chống lại bệnh tật	[8]
Palladium	Meso Palladium-Purest Colloids Inc.	Tăng tối đa diện tích bề mặt của vật liệu	[9]
Micelle	Nutrition Centre Ltd	Mô phỏng cách tiêu hóa chất béo của vi sinh vật ở đường ruột, tăng cường khả năng hấp thụ chất dinh dưỡng lên 300 %	[10]
A micelle, 30 nm in diameter	CoQ Softgels -Solgar	Chuyển hóa chất dinh dưỡng thành dạng tan trong nước, do đó tăng độ hấp thu lên nhiều lần	[11]
Nano- encapsulation	Muscletech sports nutrition supplements	Vận chuyển nhanh các phức chất vitamin vào trong cơ thể	[12]
Lyposomal Nano- spheres	Vitamin C-  LivOn Labs	Bảo bọc vitamin C để vitamin có thể nhẹ nhàng vượt qua thành ruột và đi vào trong máu	[13]
Micelle  30 nm diameter	Aquanova	Tăng độ hấp thụ và tăng khả năng thấm thấu các hoạt chất vào ruột và da	[14]

Nano encapsulation natural lipids	NanoResveratrol™ Life Enhancement	Làm chất mang giúp chất có hoạt tính vượt qua các kẽ nhỏ trên thành tế bào và có thể đi vào trong tế bào	[15]
Unknown	Life Enhancement (discontinued)	Nuôi dưỡng và bảo vệ tế bào, mô và các cơ quan, chống tác nhân lão hóa	[16]
Curcuminoids	Life Enhancement (discontinued)	Chỉ cần dùng một lượng nhỏ nghệ là đủ đạt mức độ cần thiết trong máu	[17]
Nanoparticulated aminos	Alpha Amino Prototype MuscleTech	Giúp cơ bắp săn chắc	[18]
Nanocarrier (mineral clusters)	RBC Life Sciences®, Inc.	Làm ướt tế bào và giúp thể hiện nhiều chức năng sinh tồn một cách hiệu quả	[19]
Silica	MesoSilica™ - Purest Colloids Inc.	Giúp da khỏe mạnh và tái tạo collagen giúp cho sự đàn hồi da.	[20]
Silicate mineral (300 mg/capsule)	Microhydrin® -RBC Life Sciences®, Inc.	Cung cấp các vật liệu để tạo năng lượng, nâng cao sức bền bỉ và tăng sự hồi phục	[21]
Calcium	Good State - Liquid Ionic Minerals Calcium	Có kích thước rất nhỏ, đường kính khoảng 0,1 nm, giúp xương và răng khỏe, và duy trì răng lợi khỏe mạnh	[22]
Calcium and Magnesium	Good state	Giảm huyết áp, và có thể giúp giảm mật độ xương liên quan đến xương giòn, giữ da khỏe mạnh	[23]
Calcium	Mag-I-Cal.com	Hấp thu nano canxi/magie cao hơn so với các sản phẩm khác	[24]
CoQ10 and β-Cyclodextrin	Genceutic Naturals	Ổn định hơn, có thể bảo vệ khỏi ánh sáng và nhiệt độ	[25]
Zeolite crystals	Vitality Products Co. Inc.	Hỗ trợ hệ thống miễn dịch khỏe mạnh, giúp loại bỏ kim loại nặng, độc tố và các chất khác ra khỏi cơ thể	[26]
Hộp đựng thức ăn			
Ag NP	Kinetic Go Green	Giữ cho thực phẩm tươi hơn dài gấp 3 lần so với túi đựng plastic thông thường	[27]
Ag NP	Basic Nanosilver Oso Fresh		[28]

	Ag NP	FresherLonger™ Sharper Image®	Chống vi khuẩn	[29]
	Ag NP	Fresh Containers™ Always Fresh	Loại bỏ các khí gây hại	[30]
	Ag NP	A-DO Global	Chống vi khuẩn ở nồng độ 20 ppm	[31]
	Ag NP	Quan Zhou Hu Zheng Nano Technology Co., Ltd	Chống vi sinh vật	[32]
	Đất sét (clay)	Top Nano Technology Co., Ltd.	Giảm độ cay, mang lại hương thơm hơn cho rượu mạch nha	[33]
Lớp phủ ngoài	Nano phim	Constantia Multifilm	Cản được oxygen tốt hơn vật liệu PET (Polyethylene terephthalate) và PVC (Polyvinyl chloride) nhưng nhẹ và giá cả rẻ hơn	[34]
Lớp phủ thực phẩm	Các hạt VLNN phân bố đơn lẻ	TopScreen DS13 - Topchim	Có nguồn gốc sáp nước và sinh học, làm màng bọc có thể chịu nhiệt độ cao hơn và ít dính hơn	[35]
Túi đựng sữa mẹ	Ag NP	Jaco	Không có thông tin	[36]
Bình nước	Ag NP	Chronic Nano Technology	Loại bỏ các gốc tự do, tăng cường hệ miễn dịch	[37]
Bình nước	Ag NP	A-DO Global	Chống lại vi khuẩn	[38]
Tô đựng salad	Ag NP	Changmin Chemicals	Không có thông tin	[39]
Chảo	Carbon	Melitta	Làm nóng thực phẩm nhanh chóng (nhanh hơn 30% thời gian nấu nướng)	[40]
Màng lọc	Nano alumina	NanoCeram-PAC Argonide	Có khả năng bắt các hạt rất nhỏ	[41]
Lọc nước	Ceramic	Eurodia	Tách nước cùng lúc với tách các hạt ion	[42]
Màng plastic	bọc ZnO	SongSing Nano Technology Co., Ltd.	Chống tia UV, phản xạ tia hồng ngoại, tiệt trùng và chống mốc	[43]
Chai đựng bia	nhựa Đất sét (clay)	Voridian	Giữ bia tươi hơn và kéo dài thời gian bảo quản	[44]
Chai bia	Đất sét (clay)	Honeywell	Cản được oxy xâm nhập trong thời gian dài	[45]

Thực phẩm				
Rượu	Au NP	Taiwanese YuShanJin	Già tăng giá trị cảm quan (giảm cảm giác cháy miệng khi uống rượu)	[46]
Sy-rô chocolate	Titanium dioxide	Albertsons	Nồng độ 0,0025 µg Ti/mg	[47]
Sy-rô chocolate	Titanium dioxide	The Hershey Company	Nồng độ 0,0026 µg Ti/mg	[48]
Keo bánh (chocolae, kẹo gum, bánh qui)	Titanium dioxide oxide	M&M Company	Có kích thước nhỏ hơn 450 nm	
Dầu hoa cải	Nanodrops (mixin)	Shemen Industries	Ngăn chặn cholesterol từ trong hệ tiêu hóa đi ra hệ máu	[49]
Nước khoáng	Ag NP (100 pm)	La Posta del Aguila	Dành cho bà mẹ và trẻ em trong giai đoạn mang thai. Chống vi sinh vật	[50]
Chocolate	Nanocarrier	Nanoceuticals™ Slim Shake Chocolate	Tăng cường hương vị và lợi ích của thực phẩm	[51]
Trà	Selenium nanoparticles	Shenzhen Become Industry & Trade Co., Ltd.	Tiêu diệt vi-rút	[52]
Keo dán	Biopolymer (tinh bột)	Ecosynthetix	Làm khô nhanh so với hơn tinh bột truyền thống	[53]
Bột đánh răng	Nanopowder (silicon)	RBC Life Sciences®, Inc.	Giảm sức căng bề mặt của thực phẩm và làm chất bổ sung để tăng độ ẩm và hấp thụ chất dinh dưỡng	[54]
Dụng cụ nhà bếp				
Thớt cắt	Ag NP	Husk's Kitchen	Có thể phân hủy sinh học và chống vi khuẩn	[55]
Thớt cắt	Ag NP	A-DO Global	Chống vi khuẩn	[56]
Thớt cắt	Ag NP	Pro-Idee GmbH & Co. KG	Chống lại vi khuẩn và tiêu diệt trên 99.9% vi trùng	[57]
Chảo rán	Ag NP	Concord Cookware	Phủ lớp nano bạc trong và ngoài	[58]
	Ag NP	Korea King	Tiệt trùng và chống vi khuẩn	[59]
	Ag NP	Amoré TM Kitchenware	Ngăn chặn sự phát triển của vi sinh vật, mốc, và nấm mốc	[60]

Lọc nước	Ag NP	Katadyn Asia Inc.	Giảm sự phát triển của vi khuẩn ở trong ống ceramic, diệt khuẩn liên tục	[61]
Bếp nấu	Nano-Carbon Fiber	Sunpentown	Làm nóng nhanh, tiết kiệm thời gian nấu và năng lượng.	[62]
Bình trà	Metals	Top Nano Technology Co., Ltd.	Giải phóng hương vị trà trong vòng 30 giây	[63]
Đồ đựng thủy tinh	Nanofilms	Nanofilm	Lớp phủ không dính cho thủy tinh	[64]
	Ag NP	Westfalia Wergzeugcompany GmbH & CO KG	Chống vi khuẩn và vi trùng	[65]
Dụng cụ nấu nướng	Glaze	Ceramcor LLC	Giữ nhiệt và phân bố nhiệt tốt	
Chảo	Nano-ceramic	Bialetti	Lớp phủ làm từ Titan và các hạt vi silicat lơ lửng	[66]
Dụng cụ nhà bếp	Ag NP	Nano Care Technology, Ltd.	Tiêu diệt các vi khuẩn và vi sinh vật mảng bám trong vòng 10 phút và có tác dụng trong thời gian dài	[67]
Máy pha cà phê	Ag NP	Saeco United States Inc.	Đảm bảo các vật dụng chứa sữa đều sạch 100%	[68]
Máy rửa rau và trái cây	Ag NP	Jiekang Technology (Shen Zhen) Co., Ltd.	Giảm sự phát triển của vi khuẩn	[69]
Máy rửa rau và trái cây	Ag NP	3EVER Co.,Ltd	Tiêu diệt vi khuẩn <i>Bacillus</i> , <i>Salmonella</i> and <i>E. coli</i> O-157	[70]
Dầu nấu ăn	Ag NP	SongSing Nano Technology Co., Ltd.	Tiêu diệt vi khuẩn <i>Staphylococcus. K. pneumoniae</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , etc.	[71]
<b>Đồ dùng trẻ em</b>				
Bình sữa	Ag NP	BabyDream	Gúp bảo vệ em bé có hệ thống miễn dịch yếu khỏi vi trùng, và nguồn gây bệnh	[72]
Ly tập uống nước	Ag NP	BabyDream	Gúp bảo vệ em bé có hệ thống miễn dịch yếu khỏi vi trùng, và nguồn gây bệnh	[73]
Núm ty giả	Ag NP	BabyDream	Gúp bảo vệ em bé có hệ thống miễn dịch yếu khỏi vi trùng, và nguồn gây bệnh	[74]



## 2 THUỘC TÍNH KHÁNG VI SINH VẬT CỦA VLNN VÔ CƠ

Một số VLNN có tính kháng vi sinh vật như các vi khuẩn gây bệnh cho người. Bảng 2 tóm tắt kết quả của các nghiên cứu gần đây về thuộc tính kháng vi sinh vật của VLNN vô cơ, bao gồm kim loại, oxit kim loại, và vật liệu nguồn gốc carbon, chống lại các vi khuẩn gây bệnh, vi-rút, và ký sinh trùng. Ví dụ, trong các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng Selenium nano có khả năng chống lại vi sinh vật *Trichophyton rubrum* [2], *Candida albicans* [3], *Pseudomonas aeruginosa*, and *Proteus mirabilis* [4].

Bảng 2. Tác dụng chống vi sinh vật của VLNN vô cơ lên các loại vi sinh vật khác nhau

Vi sinh vật	VLNN	Tác dụng	Tài liệu tham khảo
<b>Selenium nano (Se NP)</b>			
<b>Bacteria and yeasts</b>			
<i>Trichophyton rubrum</i>	Được đậy lên vải bằng phức hợp PSP–Se NP	Ức chế hơn 99,7% tăng trưởng trong thời gian thử nghiệm 7 ngày	[2]
<i>Candida albicans</i>	Sản xuất ra từ <i>Lactobacillus</i> species	Tăng cường hoạt tính kháng nấm chống lại <i>C. albicans</i> .	[3]
<i>Staphylococcus aureus</i>	Kích thước 50–100 nm	Hoàn toàn ức chế được sự phát triển khi thực nghiệm trong ống nghiệm	[5]
<i>S. aureus</i> and <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Kích thước 50 nm	Ức chế sự tăng trưởng của <i>S. aureus</i> và <i>P. aeruginosa</i> 80% ~90% sau 72 giờ trên khăn giấy	[6]
<i>Escherichia coli</i> (MTCC 433) and <i>Bacillus subtilis</i> (MTCC 441)	Kết hợp giữa Ag–Se NP	Hiện thị vùng ức chế trong cả hai trường hợp trên môi trường thạch	[7]
Thirty strains of <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , and <i>Proteus mirabilis</i>	Kích thước 80–220 nm	Ức chế màng sinh học của <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> và <i>P. mirabilis</i> lần lượt là 42%, 34,3% và 53,4%	[4]
<i>S. aureus</i>	Kích thước 100 nm	Ức chế sự tăng trưởng của <i>S. aureus</i> trong nước dùng sau 3, 4 và 5 giờ ở mức 7,8, 15,5 và 31 µg/mL	[8]
<b>Bạc nano (Ag NP)</b>			
<b>Vi khuẩn và nấm</b>			
<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>P. aeruginosa</i>		Hoạt động kháng khuẩn đáng kể, có thể chống lại tất cả các vi khuẩn gây bệnh	[9]

<i>S. aureus</i> và <i>Streptococcus mutans</i> , <i>C. albicans</i>	Vật liệu y tế phủ lớp bạc nano Ag NP	0,1% kết hợp bạc nano cho thấy tác dụng diệt khuẩn đối với hai chủng vi khuẩn. Tổ hợp 5% bạc nano có khả năng diệt nấm	[10]
<i>E. coli</i> và <i>S. aureus</i>	Vật liệu composite kết hợp giữa cellulose nguồn gốc từ vi khuẩn và bạc nano		[11]
<i>S. aureus</i> , methicillin-sensitive <i>S. aureus</i> (MSSA), and MRSA	Kích thước 5–10 nm	Cho thấy cả tác dụng ức chế vi khuẩn và diệt khuẩn	[12]
<i>Salmonella Typhi</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>P. vulgaris</i> , <i>E. coli</i> , <i>K. pneumoniae</i>	Hệ keo bạc, kích thước 20–45 nm	Nồng độ ức chế vi sinh vật khoảng 2–4 $\mu\text{g ml}^{-1}$	[13]
<b>Vi khuẩn</b>			
MS2	Average 21 nm	Tạo điều kiện cho MS2 lây nhiễm ký chủ <i>E. coli</i> trong một giờ trước khi tiếp xúc	[14]
<b>Ký sinh trùng</b>			
Hematophagous parasites	60–150 nm		[15]
	Kẽm oxít (ZnO NP)		
Ký sinh trùng			
Ký sinh trùng hút máu	Kích thước 60–120 nm	Tỷ lệ chết là 100% sau 12 giờ	[16]
<b>Bacteriophage</b>			
MS2	Kích thước trung bình là 39 nm	Tạo điều kiện cho MS2 lây nhiễm ký chủ <i>E. coli</i> trong một giờ trước khi tiếp xúc	[14]
<b>Vi sinh vật, nấm men, và tảo nấm</b>			
<i>Campylobacter jejuni</i>	Kích thước khoảng ~30 nm	Hạt nano ZnO có thể tiêu diệt được <i>C. jejuni</i>	[17]
<i>Botrytis cinerea</i> và <i>Penicillium expansum</i>	70 $\pm$ 15 nm	Ở nồng độ lớn hơn 3 mM có thể ức chế đáng kể sự phát triển của hai loại vi khuẩn <i>Botrytis cinerea</i> và <i>Penicillium expansum</i>	[18]

<i>Salmonella Typhimurium</i> và <i>S. aureus</i>	≤ 50 nm	Giảm số lượng tế bào về 0 trong vòng 8 giờ	[19]
<i>S. aureus</i>	10–30 nm	Cho thấy tác dụng kháng khuẩn mạnh hơn nhiều đối với vi khuẩn gram dương so với vi khuẩn gram âm	[20]
<i>E. coli</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , và <i>S. aureus</i>	50–70 nm	ZnO được phát hiện là chất độc thứ hai trong số các hạt nano được thử nghiệm (CuO, NiO, and Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	[21]
<i>S. aureus</i> và biofilm	ZnO on PVC composite	Sự hiện diện của ZnO làm giảm vi khuẩn hoạt động trên các mẫu	[22]
<i>P.aeruginosa</i> và <i>Aspergillus flavus</i>	Tổng hợp bằng sinh học kích thước 57-72 nm	Vùng ức chế tối đa là <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (22 ± 1,8 mm) và <i>Aspergillus flavus</i> (19 ± 1,0 mm).	[23]
<i>S. Typhimurium</i> và <i>S. aureus</i> trong sản phẩm thịt gà ăn liền	Tẩm trên vật liệu bao bì với kích thước ≤ 100 nm	Giảm số lượng vi khuẩn nhiễm từ log bảy xuống 0 trong vòng 10 ngày ở 8°C.	[24]
<i>Streptococcus mutans</i> và <i>Lactobacillus</i>	Dạng bột với kích thước hạt trung bình khoảng 50 nm	Thể hiện hoạt tính chống vi khuẩn cao hơn đối với mẫu chứng	[25]
<i>Salmonella</i> trong sản phẩm trứng lỏng	Vật liệu PLA phủ 1 lớp kẽm oxít khoảng 250 mg	Sự kết hợp giữa PLA và kẽm oxít làm giảm hiệu quả mầm bệnh hoặc kìm hãm sự phát triển của chúng	[26]
<i>S. aureus</i> và <i>B. subtilis</i>	Bạc pha cùng ZnO	Nồng độ khác nhau của Ag ảnh hưởng đến giá trị MIC	[27]
Vi khuẩn chịu muối và chịu nhiệt độ thấp	Kích thước ≤ 100 nm	Giảm 50% sự phát triển của <i>Enterobacter</i> sp. Trong khi đó giảm 80% sự phát triển vi khuẩn kháng muối <i>Marinobacter</i> sp.	[28]
Vi khuẩn và nấm gây bệnh	Tổng hợp sinh học, kích thước 40 nm	Hoạt tính diệt khuẩn được tăng cường hơn khi so sánh với các hạt nano ZnO tổng hợp bằng hóa học	[29]
<i>S. aureus</i> và <i>P. aeruginosa</i>	Kết hợp với tia UV và hạt nano kích thước trung bình khoảng 60 nm	Làm giảm hơn 4 log (tương đương với kháng sinh) so với mẫu chứng chỉ sau 8 giờ.	[30]

<i>E. coli</i> và <i>Staphylococcus</i>	Tổng hợp sinh học sử dụng chiết xuất lá cây dâm bụt <i>Hibiscus subdariffa</i> , kích thước hạt khoảng 12–46 nm	Ở nồng độ trên 50 $\mu\text{g ml}^{-1}$ cho thấy hiệu quả diệt khuẩn rất tốt	[31]
Các chủng gây bệnh ( <i>B. subtilis</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Sarcina lutea</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>P. vulgaris</i> , <i>C. albicans</i> và <i>Aspergillus niger</i> )		Có tác dụng hạn chế sự phát triển của vi khuẩn tốt nhưng tác dụng tiêu diệt khuẩn kém đối với tất cả các mầm bệnh được thử nghiệm	[32]
<i>C. albicans</i>	Kích thước 11,6 nm	Khả năng sống của <i>C. albicans</i> phụ thuộc vào nồng độ của ZnO và MIC là 0,1 mg/ml	[33]
<i>P. aeruginosa</i>	Kích thước 20±3 nm	Loại bỏ vi khuẩn trong gan nhưng thay đổi được vi khuẩn trong máu	[34]

### Graphene (G) và dẫn xuất của nó

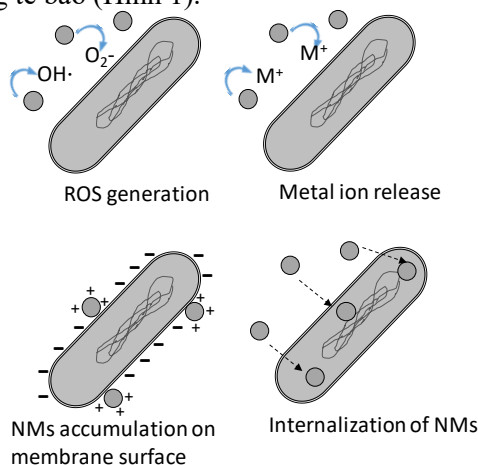
#### Bacteria

<i>E. coli</i>	Màng membrane graphene oxít (GO)	Khoảng 92% và 72% <i>E. coli</i> còn lại trên bề mặt membrane sau 1 giờ và 5 giờ xử lý với GO	[35]
<i>E. coli</i>	GO	Vi khuẩn có thể khử graphene oxít thành graphene và tự diệt khuẩn	[36]
<i>E. coli</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>B. subtilis</i>	Được tổng hợp bởi phương pháp thủy nhiệt	Hoạt tính kháng khuẩn chiếm ưu thế so với kháng sinh kanamycin	[37]
<i>S. aureus</i> và <i>E. coli</i>	Tác nhân quang nhiệt làm từ G	Tiêu diệt hiệu quả tới 99% cả hai loại vi khuẩn trong 10 phút	[38]
	Vật liệu tổng hợp G dẫn xuất Poly-L-Lysine	Các chất kháng khuẩn mạnh nhất	[39]
	Màng nanocompozit graphene (PVK-GO)	Hiệu quả hơn 90% trong việc ngăn chặn sự xâm nhập	[40]

			của vi khuẩn so với bề mặt không sử dụng GO
<i>E. coli</i> và <i>P. aeruginosa</i> .	Vật liệu bạc và GO kết hợp với nhau	Hoạt tính chống khuẩn tốt đối với cả hai loại vi khuẩn	[41]
	Ag/G polymer Hydrogel		[41]
<i>P. aeruginosa</i> và <i>S. aureus</i>	G nanofilms với độ dài cạnh khác nhau	Hiệu quả diệt khuẩn khác nhau đối với hai loại vi khuẩn gây bệnh	[42]
<i>E. coli</i> O157:H7	Màng sinh học 3D xấp kết hợp ống nano carbon	Khả năng cao loại bỏ được vi khuẩn <i>E. coli</i> O157: H7	[43]
Methicillin-resistant <i>S. aureus</i> (MRSA) pathogens	Màng GO liên hợp peptide	Gần như 100% MRSA có thể bị loại bỏ và tiêu diệt khỏi mẫu nước	[44]
<i>P. syringae</i> và <i>X. campestris</i> pv. <i>undulosa</i> )	GO	Giết chết gần 90% vi khuẩn và ức chế 80% sự nảy mầm của macroconidia	[45]
Fungal pathogens ( <i>F. graminearum</i> và <i>F. oxysporum</i> )			
<i>Streptococcus mutans</i>	G nanoplatelets (GNP)	Tác dụng tiêu diệt các tế bào <i>S. mutans</i> và phụ thuộc vào kích thước và độ dày bên của GNP	[46]
<i>E. coli</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>E. faecalis</i>	GO-modified ZnO NP	Tính kháng vi sinh vật rất tốt	[47]

### 3 CƠ CHẾ ĐẶC TÍNH KHÁNG KHUẨN CỦA HẠT NN VÔ CƠ

Cơ chế đặc tính kháng khuẩn của VLNN vô cơ vẫn chưa được hoàn toàn hiểu rõ. Tính kháng khuẩn của hạt NN là do sự hình thành các gốc oxy phản ứng (ROS), giải phóng các ion kim loại (MMs) độc hại, sự xâm nhập vào tế bào và phá vỡ màng tế bào (Hình 1).



Hình 1. Hình ảnh mô tả cơ chế đặc tính kháng thể của hạt NN kim loại oxit (trích từ tài liệu [48])

### 3.1 Sự hình thành các ROS

Trong nhiều nghiên cứu, ROS được xem là tác nhân góp phần phá hủy tế bào [49-55] trong khi đó có một số nghiên cứu lại chỉ ra rằng các ROS trung gian không có vai trò trong đặc tính kháng vi sinh vật của hạt NN [56] [57], [58]. ROS được tạo ra là do sự tương tác giữa hạt NN và tế bào tạo ra ROS, không phải là do mỗi hạt NN tự tạo ra một cách tự nhiên [48]. Sự hình thành ROS liên quan đến sự thiếu hụt oxygen, gốc tự do, ion superoxide, và hydrogen peroxide. Sự hình thành các gốc tự do cũng là một cơ chế khá rõ của bạc NN [59]. Khi các hạt nano bám vào tế bào vi khuẩn, những gốc tự do này có thể phá hủy thành tế bào, làm cho màng thủng và từ đó làm dịch bào chảy hết và gây chết tế bào [60, 61]. Tương tự như kim loại và kim loại oxit, tế bào bị stress là một cơ chế liên quan đến độc tính của các VLNN có gốc carbon [62]. Điều này giải thích tại sao nếu ROS không bị giảm đi hoặc loại bỏ thì các đại phân tử tế bào, chẳng hạn như protein, DNA và lipid có thể đã bị hỏng [63].

### 3.2 Cơ chế giải phóng các ion kim loại và độc tính của nó

Thông thường để kiểm tra giả thuyết về sự giải phóng các ion kim loại của hạt nano, các nghiên cứu thường được sử dụng cách so sánh độc tính của NP kim loại với độc tính của các muối kim loại khác nhau (clorua, nitrat, v.v.). Các ion kim loại này có thể tương tác với các nhóm thiol của nhiều enzyme quan trọng và làm bất hoạt chúng [59]. Sự ức chế enzyme hô hấp bởi các ion bạc có thể dẫn đến việc tạo ra ROS sau đó tấn công chính tế bào. Hơn nữa, khi các tế bào “nuốt” các ion, các ion này sẽ ức chế một số chức năng trong tế bào và gây ra tổn thương các tế bào. Loại độc tính do giải phóng ion kim loại đã được tìm thấy ở ZnO [64, 65], ở bạc [66, 67], ở CuO, NiO, MgO, WO<sub>3</sub> [68], và CeO<sub>2</sub> [69-71]. Một nghiên cứu cho thấy cơ chế độc tính này liên quan đến việc giải phóng các ion Ag<sup>+</sup>. Trong nghiên cứu này, bạc nano và muối bạc nitrat AgNO<sub>3</sub> đều được khử ion thông qua nhựa resin trao đổi ion [72]. Tuy nhiên, kết quả cho thấy ion Ag<sup>+</sup> tự do tồn tại không chỉ trong các dung dịch bạc nano mà còn cả trong dung dịch AgNO<sub>3</sub>. Điều này chứng tỏ rằng cơ chế giải phóng Ag<sup>+</sup> trong việc giải thích cơ chế độc tính của Ag NP vẫn còn nhiều tranh cãi. Trong trường hợp kẽm oxit nano, đã có kết quả nghiên cứu khá mâu thuẫn về mối quan hệ giữa giải phóng ion Zn<sup>2+</sup> và khả năng kháng khuẩn của kẽm oxit nano. Ví dụ, các tế bào hoại tử *Cupriavidus* khi đã tiếp xúc với Zn<sup>2+</sup> sẽ dẫn đến biểu hiện tăng các protein liên quan đến quá trình trao đổi chất, trong khi việc tiếp xúc với kẽm oxit (không phải dạng nano) sẽ dẫn đến biểu hiện tăng protein liên quan đến sinh tổng hợp màng tế bào [73].

### 3.3 Các cơ chế khác

Một cơ chế khác của đặc tính kháng khuẩn của hạt NN là thay đổi cấu trúc trong màng tế bào. Độc tính của nano oxit kim loại được cho là do sự kết dính của hạt nano với màng tế bào, do đó gây ra stress oxy hóa cho tế bào bằng cách thay đổi tính thấm thấu của màng tế bào, độ nhớt, khả năng trao đổi vận chuyển và cuối cùng dẫn đến tế bào chết [69, 74, 75]. VLNN có thể tương tác với màng tế bào không chỉ thông qua tương tác tĩnh điện mà còn các tương tác có thể khác, bao gồm lực Van der Waals, tương tác kỵ nước và tương tác phối tử - thụ thể. Các loại tương tác hóa lý khác nhau giữa các hạt nano và tế bào vi khuẩn có thể giải thích tại sao các hạt nano tích điện âm có thể dễ dàng gắn vào một tế bào Gram âm. Một số nghiên cứu đã xác minh sự phá vỡ màng tế bào bằng oxit kim loại bằng các thí nghiệm proteomics cho thấy sự biến dạng màng tế bào khi tiếp xúc với hạt nano [64, 73, 76-78] cho thấy rõ ràng sự hiện diện của nano kẽm oxit đã dẫn đến sự phá hủy màng tế bào của *E. coli*. Các hạt nano bạc có khả năng bám vào thành tế bào vi khuẩn và cuối cùng xâm nhập vào nó, hình thành nên các lỗ nhỏ và tích tụ trên bề mặt tế bào [67]. Zhang và cộng sự (2007) cho thấy rõ ràng sự hiện diện của nano kẽm oxit đã dẫn đến sự phá hủy màng tế bào của *E. coli* [79]. Trong một số nghiên cứu về độc tính của vật liệu họ graphene [50, 80], kết quả chỉ ra rằng vì graphene sở hữu các cạnh sắc nét và các neo vật lý, chúng có thể gây tổn thương màng tế bào của vi sinh vật. Ví dụ, Liu và cộng sự (2013) [81] đã chứng minh rằng cơ chế độc hại của GO và GO dạng khử (reduced) liên quan đến sự lắng đọng vật chất trên các tế bào và ứng suất màng do tiếp xúc trực tiếp với các tấm sắc nhọn của vật liệu. Tuy nhiên, cơ chế tiếp xúc trực tiếp nên được xem xét cẩn thận khi nghiên cứu độc tính vì các tác động độc hại vẫn xảy ra ngay cả khi các nano và vi khuẩn không tiếp xúc nhau và tế bào cũng có thể bị chết, ngay cả khi một số loại nano không dính trên bề mặt tế bào.

Một cơ chế về tính kháng vi sinh vật khác liên quan có thể đến sự tương tác của nano với lưu huỳnh và phốt pho của DNA vi khuẩn, dẫn đến việc các tế bào không thể sao chép, do đó giết chết các vi khuẩn [82]. Hạt nano có khả năng khử phốt pho trong dư lượng tyrosine của vi khuẩn Gram âm cũng được xem là một cơ chế tiềm năng của độc tính nano [83].

## 4 TÍNH CHẤT VẬT LÝ VÀ HÓA HỌC CỦA VLNN VÔ CƠ SẼ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HOẠT ĐỘNG KHÁNG KHUẨN CỦA CHÚNG

Độc tính của hạt nano phụ thuộc vào kích thước, thành phần, các nhóm trên bề mặt và tính chất bên trong của vi khuẩn được thử nghiệm. Các đặc tính của vi khuẩn này bao gồm loại thành tế bào (Gram dương so với Gram âm), tốc độ tăng trưởng và hình thái màng sinh học của vi sinh vật [84]. Tuy nhiên, trong bài tổng quan này, chỉ các tính chất vật lý và hóa học của các VLNN vô cơ đã đề cập ở trên sẽ được thảo luận tiếp đây.

### 4.1 Kích thước của VLNN

Nhiều nghiên cứu cho rằng độc tính của nano Titanium oxít ( $\text{TiO}_2$  NP) chỉ được thể hiện khi kích thước hạt nano đủ nhỏ [85-90]. Lin và cộng sự (2014) đã nghiên cứu độc tính của năm loại  $\text{TiO}_2$  NP với kích thước hạt khác nhau (10 – 50 nm) và ở dạng tinh thể trên vi khuẩn *E. coli*. Tác dụng kháng khuẩn của  $\text{TiO}_2$  NP giảm khi tăng kích thước hạt và hàm lượng rutile của  $\text{TiO}_2$  NP. Các  $\text{TiO}_2$  NP có cấu trúc tinh thể dạng anatase và kích thước hạt nhỏ hơn sẽ tạo ra hàm lượng ROS nội bào cao hơn và do đó có tác dụng kháng khuẩn lớn hơn [91]. Tương tự như  $\text{TiO}_2$  NP, nhiều báo cáo đã chỉ ra rằng kích thước hạt có thể ảnh hưởng đến hoạt động kháng khuẩn của ZnO NP [92-94]. Ví dụ, Yamamoto (2001) đã nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước hạt của các ZnO NP trong phạm vi 100-800 nm trên *S. aureus* và *E. coli*. Các nghiên cứu nhận thấy rằng hoạt động kháng khuẩn của ZnO NP tăng lên cùng với việc giảm kích thước hạt. Các kết quả khác cũng cho thấy huyền phù ZnO với các hạt kích thước 12 nm có hiệu quả hơn huyền phù với kích thước hạt lớn [94]. Lý do có thể là do các ZnO NP có kích thước nhỏ hơn với diện tích bề mặt nhiều hơn đã làm tăng lượng  $\text{H}_2\text{O}_2$  [95].

### 4.2 Hình dạng hạt nano

Các hạt nano ZnO với kích thước đường kính trung bình ~ 30 nm cho thấy hoạt tính kháng khuẩn cao nhất. Yamamoto và cộng sự (2004) kết luận rằng hoạt tính kháng khuẩn của bột ZnO đã tăng lên khi gia tăng giá trị hằng số mạng của ô đơn vị lục giác của ZnO NP của bột ZnO. Hằng số mạng của ô đơn vị lục giác của ZnO thông thường là tỉ lệ giữa c/a khoảng 1.6. Đối với các VLNN có carbon trong cấu trúc thì một nghiên cứu có hệ thống đã nghiên cứu tác dụng kháng khuẩn của các huyền phù GO khác nhau, tùy thuộc vào kích thước khác nhau (khác nhau khoảng 100 lần) và sự các phân bố các kích thước đó [96]. Thuộc tính kháng khuẩn của GO chống lại các tế bào *E. coli* cao hơn ở các tấm GO có kích thước lớn so với các tấm GO có kích thước nhỏ hơn. Lý do có thể là các tấm GO lớn hơn có khả năng bao phủ các tế bào dễ dàng hơn, có thể chặn các vị trí hoạt động của chúng trên màng. Trong khi các tấm GO nhỏ hơn được gắn không hiệu quả vào bề mặt vi khuẩn, dẫn đến hoạt động kháng khuẩn yếu hơn [97].

### 4.3 Thuộc tính bề mặt

Phương pháp nhúng là một trong những phương pháp được sử dụng nhiều nhất trong các phương pháp sửa đổi cấu trúc của VLNN [98-100]. Kết quả chỉ ra rằng các ZnO NP kết hợp cùng bạc có hoạt tính kháng khuẩn tốt hơn so với chỉ một mình ZnO NP. Gordon và cộng sự (2011) đã pha tạp oxít sắt lên các hạt ZnO NP để tạo ra các hạt nano từ tính có hoạt tính kháng khuẩn mà sau đó được phát hiện tính kháng khuẩn phụ thuộc vào tỷ lệ trọng lượng giữa [Zn]: [Fe]. Tỷ lệ này càng cao thì hoạt tính kháng khuẩn càng cao. Hoạt tính kháng khuẩn của hydroxyapatite nanocompozit kết hợp cùng bạc nano đã ức chế đáng kể sự phát triển của *E. coli* JM110 và *Micrococcus luteus* [101].

Liu và Kim đã áp dụng nanocompozit bao gồm chitosan/poly (ethylene glycol)/ZnO/Ag làm vật liệu băng vết thương. Kết quả chỉ ra rằng miếng dán hydrogel pha với nano bạc có hoạt tính kháng khuẩn cao hơn hydrogel [102]. Tương tự, các tác giả này đã chứng minh rằng các ống nano  $\text{TiO}_2$  được kết hợp với bạc nano đã tiêu diệt vi khuẩn *S. aureus* trong vài ngày đầu tiên và ngăn chặn sự bám dính của chúng trong 30 ngày.

### 4.4 Kích thước và hình thái của VLNN

Wang và cộng sự (2007) đã nghiên cứu mối quan hệ giữa hoạt động kháng khuẩn và các định hướng (orientations) khác nhau của mảng ZnO NP [103]. Kết quả chỉ ra rằng các mảng nano ZnO được định hướng ngẫu nhiên cho thấy hoạt động kháng khuẩn tốt hơn chống lại *E. coli* so với các mảng nano ZnO có định hướng lộn xộn hay sắp xếp quá trật tự.

## 5 TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG VLNN TRONG SẢN PHẨM TIÊU DÙNG VÀ THỰC PHẨM Ở VIỆT NAM

Vào năm 2014 chính phủ Việt Nam đã phê duyệt danh mục 58 công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển và danh mục 114 sản phẩm công nghệ cao được khuyến khích phát triển. Trong đó công nghệ vật liệu nano là công nghệ được ưu tiên đầu tư phát triển. Mục tiêu của chính phủ Việt Nam là từ năm 2020-2030 là nâng cao tiềm lực khoa học và công nghệ trong vật liệu và công nghệ nano để có thể giúp Việt Nam nhanh chóng đạt trình độ tiên tiến trong khu vực. Đây là một mục tiêu khá táo bạo và cần nhiều nguồn lực và nhân lực có trình độ có thể thực hiện hóa mục tiêu này.

Về nghiên cứu cơ bản, một số phòng thí nghiệm tại các trường và viện đã bắt đầu tập trung vào nghiên cứu vật liệu và công nghệ nano. Trong số đó, phải kể đến Viện Khoa học vật liệu của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Công nghệ nano của Đại học Quốc gia TP.HCM, Đại học Khoa học tự nhiên và Đại học Công nghệ của Đại học Quốc gia Hà Nội, Đại học Bách khoa Hà Nội, Viện Nghiên cứu nano của trường Đại học Phenikaa, và Đại học Sư phạm Hà Nội. Bằng cách sử dụng google scholar để thống kê tổng số các bài báo liên quan đến nano và nơi nghiên cứu từ Việt Nam, kết quả cho thấy có trên 15.000 nghiên cứu bao gồm cả kỹ yếu tại các hội nghị từ năm 2015 đến 2020. Nội dung nghiên cứu về ứng dụng trong thực phẩm và tiêu dùng có thể bao gồm các hoạt chất sinh học hay dược liệu [104] [105] màng nano kháng khuẩn bao gói thực phẩm, các chất kháng khuẩn [106] [107, 108], kit thử vi sinh vật trong thực phẩm, màng lọc nước [109-112]. Tổng số đề tài, dự án đã được thực hiện và các sản phẩm công nghệ các doanh nghiệp tự nghiên cứu và phát triển tại Việt Nam từ năm 2010 trở lại đây là khoảng hơn 400 công nghệ, tuy nhiên số lượng các công nghệ được thương mại hóa thành công lại không nhiều [113].

Hiện nay tại Việt Nam, y dược và mỹ phẩm là được xem là mảng ứng dụng nhiều nhất của công nghệ nano. Từ ngành dệt (khâu trang [114], vải dệt [115]), y dược (sản phẩm thực phẩm chức năng, như nghệ curcumin nano [72, 113, 116], cốm cho trẻ em [117]). Tuy nhiên, giống như các nước khác, Việt Nam cũng chưa có qui định cụ thể và chi tiết về các sản phẩm tiêu dùng chứa VLNN [115].

Sản phẩm sử dụng VLNN tại Việt Nam được thống kê qua Bảng 3. Hiện nay, Việt Nam đang tập trung nghiên cứu lĩnh vực nano và đưa sản phẩm nano ra thị trường.

Bảng 3. Các sản phẩm thực phẩm và hàng tiêu dùng có chứa VLNN sản xuất tại Việt Nam

Danh mục	VLNN	Nhà cung cấp	Công bố thông tin trên nhãn
Thực phẩm bổ sung			
Viên nhộng	Nghệ nano	CurmaGold- Công ty dược mỹ phẩm CVI	Hạt có kích thước 50-70 nm, tác dụng trong việc điều trị bệnh dạ dày, tá tràng, ung thư.
		Nano Curcumin NDN- Vietlife Cinabet	Hạt nano có độ lớn $\pm 16$ nm, hỗ trợ giảm đường huyết, HbA1c, và giảm cholesterol, giảm nguy cơ biến chứng của bệnh đái tháo đường.
		Surma Fizzy- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	Ức chế đến hơn 65 chủng vi khuẩn Hp – Helicobacter pylori là một trong những nguyên nhân gây nên các bệnh về dạ dày
		Nano Curcumin-Tam thất-Xạ đen – Học Viện Quân Y	Có tác dụng giảm độc tính sau hóa trị, xạ trị
		Nano Curcumin 3HTD – Công ty tinh dầu và chất thơm- Viện Hàn lâm Khoa	Chứa 20% là nano curcumin có khả năng hòa tan trong nước, góp phần



		học và Công nghệ Việt Nam	làm tăng khả năng hấp thụ curcumin vào cơ thể lên đến 40 lần
Cốm cho trẻ em		Nano Mother Kids – Công ty dược phẩm Phanagreen	Công nghệ nano màng sinh học, giúp giảm ho ở trẻ nhỏ nhanh chóng
Nano Rutin và Nano Silymarin	Rutin và Silymarin	Nano Rutin và Nano Silymarin – Công ty Cổ phần Công nghệ mới Nhật Hải OIC	Hạt nano từ 20-50 nm, giữ được cấu trúc và tính ổn định trong môi trường cơ thể
Vật dụng y tế			
Khẩu trang y tế	Ag NP	Sản phẩm của Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam	Chống vi khuẩn, vi rút hàng khuẩn vượt trội và lâu dài, tiêu diệt 99,9% vi khuẩn ( <i>E. coli</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ) ngay khi tiếp xúc
Vải kháng khuẩn	Ag NP	Công ty Wakamono	

## 6 KẾT LUẬN

Bài tổng quan này là một bài tổng hợp liên quan đến nhiều nghiên cứu về việc sử dụng các vật liệu nano và công nghệ nano khác nhau trong ngành tiêu dùng và sản xuất thực phẩm. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng các VLNN vô cơ có thể được sử dụng như một chất ức chế sự phát triển của vi sinh vật có hại, và có khả năng có thể được sử dụng trong các ứng dụng y sinh và an toàn thực phẩm. Trên thế giới, thị trường các mặt hàng có chứa VLNN khá đa dạng và đang có xu hướng tăng lên hàng năm, trải dài trên các lĩnh vực ứng dụng khác nhau. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thêm để khẳng định thêm về các ứng dụng tiềm năng của vật liệu nano mới. Tác giả dự đoán rằng cần nhiều nỗ lực hơn nữa để nghiên cứu thêm về độc tính tế bào, về cơ chế làm thế nào mà các tính chất đặc biệt của VLNN (hình dạng, tính chất bề mặt và độ phân tán, v.v.) sẽ ảnh hưởng đến sức khỏe của con người ở cấp độ phân cấp từ tế bào, cơ quan, đến toàn bộ cơ thể.

## BẢNG PHỤ LỤC TÊN VIẾT TẮT

Au: Vàng

Ag: Bạc

G: Graphene

GO: Graphene oxít

NP: Nanoparticle

rGO: reduced graphene oxide

Se: Selenium

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Woodrow Wilson Inventory 2016.
- [2] Yip, J., et al., Investigation of antifungal and antibacterial effects of fabric padded with highly stable selenium nanoparticles. *J. Appl. Polym. Sci.* 131(17)2014.
- [3] Kheradmand, E., et al., The antimicrobial effects of selenium nanoparticle-enriched probiotics and their fermented broth against *Candida albicans*. *DARU* 22(1), pp. 48, 2014.
- [4] Shakibaie, M., et al., Anti-biofilm activity of biogenic selenium nanoparticles and selenium dioxide against clinical isolates of *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Proteus mirabilis*. *J. Trace Elem. Med. Bio.* 29(1), pp. 235-241, 2015.
- [5] Chudobova, D., et al., Comparison of the effects of silver phosphate and selenium nanoparticles on *Staphylococcus aureus* growth reveals potential for selenium particles to prevent infection. *FEMS microbiol. lett.* 351(2), pp. 195-201, 2014.

- [6] Wang, Q. and T.J. Webster. *Selenium Nanoparticles Inhibit Various Bacterial Growth on Paper Towels*. in *MRS Proceedings*. 2014. Cambridge Univ Press.
- [7] Mittal, A.K., S. Kumar, and U.C. Banerjee, Quercetin and gallic acid mediated synthesis of bimetallic (silver and selenium) nanoparticles and their antitumor and antimicrobial potential. *Journal of colloid and interface science*. 431(2), pp. 194-199, 2014.
- [8] Tran, P.A. and T.J. Webster, Selenium nanoparticles inhibit *Staphylococcus aureus* growth. *International journal of nanomedicine*. 6(2), pp. 1553, 2011.
- [9] Namasivayam, S., S. Ganesh, and B. Avimanyu, Evaluation of anti-bacterial activity of silver nanoparticles synthesized from *Candida glabrata* and *Fusarium oxysporum*. *Int J Med Res*. 1(3), pp. 131-136, 2011.
- [10] Nam, K.-Y., In vitro antimicrobial effect of the tissue conditioner containing silver nanoparticles. *The journal of advanced prosthodontics*. 3(1), pp. 20-24, 2011.
- [11] Barud, H.S., et al., Antimicrobial bacterial cellulose-silver nanoparticles composite membranes. *Journal of Nanomaterials*. 2011(2), pp. 10, 2011.
- [12] Ansari, M., et al., Evaluation of antibacterial activity of silver nanoparticles against MSSA and MRSA on isolates from skin infections. *Biol Med*. 3(2), pp. 141-146, 2011.
- [13] Lkhagvajav, N., et al., Antimicrobial activity of colloidal silver nanoparticles prepared by sol-gel method. *Dig J Nanomater Biostruct*. 6(1), pp. 149-154, 2011.
- [14] You, J., Y. Zhang, and Z. Hu, Bacteria and bacteriophage inactivation by silver and zinc oxide nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 85(2), pp. 161-167, 2011.
- [15] Jayaseelan, C., et al., Efficacy of plant-mediated synthesized silver nanoparticles against hematophagous parasites. *Parasitology research*. 111(2), pp. 921-933, 2012.
- [16] Kirthi, A.V., et al., Acaricidal, pediculocidal and larvicidal activity of synthesized ZnO nanoparticles using wet chemical route against blood feeding parasites. *Parasitology research*. 109(2), pp. 461-472, 2011.
- [17] Xie, Y., et al., Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. *Applied and environmental microbiology*. 77(7), pp. 2325-2331, 2011.
- [18] He, L., et al., Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological research*. 166(3), pp. 207-215, 2011.
- [19] Tayel, A.A., et al., Antibacterial action of zinc oxide nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*. 31(2), pp. 211-218, 2011.
- [20] Premanathan, M., et al., Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 7(2), pp. 184-192, 2011.
- [21] Baek, Y.-W. and Y.-J. An, Microbial toxicity of metal oxide nanoparticles (CuO, NiO, ZnO, and Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) to *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Streptococcus aureus*. *Science of the Total Environment*. 409(8), pp. 1603-1608, 2011.
- [22] Seil, J.T. and T.J. Webster, Reduced *Staphylococcus aureus* proliferation and biofilm formation on zinc oxide nanoparticle PVC composite surfaces. *Acta biomaterialia*. 7(6), pp. 2579-2584, 2011.
- [23] Jayaseelan, C., et al., a. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 90(pp. 78-84, 2012.
- [24] Akbar, A. and A.K. Anal, Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. *Food Control*. 38(pp. 88-95, 2014.
- [25] Kasraei, S., et al., Antibacterial properties of composite resins incorporating silver and zinc oxide nanoparticles on *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus*. *Restorative dentistry & endodontics*. 39(2), pp. 109-114, 2014.
- [26] Jin, T. and J. Gurtler, Inactivation of *Salmonella* in liquid egg albumen by antimicrobial bottle coatings infused with allyl isothiocyanate, nisin and zinc oxide nanoparticles. *Journal of applied microbiology*. 110(3), pp. 704-712, 2011.
- [27] Sharma, N., et al., Antibacterial study of silver doped zinc oxide nanoparticles against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*. *Drug Invention Today*. 5(1), pp. 50-54, 2013.
- [28] Sinha, R., et al., Interaction and nanotoxic effect of ZnO and Ag nanoparticles on mesophilic and halophilic bacterial cells. *Bioresource technology*. 102(2), pp. 1516-1520, 2011.
- [29] Gunalan, S., R. Sivaraj, and V. Rajendran, Green synthesized ZnO nanoparticles against bacterial and fungal pathogens. *Progress in Natural Science: Materials International*. 22(6), pp. 693-700, 2012.
- [30] Seil, J.T. and T.J. Webster, Antibacterial effect of zinc oxide nanoparticles combined with ultrasound. *Nanotechnology*. 23(49), pp. 495101, 2012.

- [31] Bala, N., et al., Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Hibiscus subdariffa leaf extract: effect of temperature on synthesis, anti-bacterial activity and anti-diabetic activity. *RSC Advances*. 5(7), pp. 4993-5003, 2015.
- [32] Yousef, J.M. and E.N. Danial, In vitro antibacterial activity and minimum inhibitory concentration of zinc oxide and nano-particle zinc oxide against pathogenic strains. *Journal of Health Sciences*. 2(4), pp. 38-42, 2012.
- [33] Lipovsky, A., et al., Antifungal activity of ZnO nanoparticles—the role of ROS mediated cell injury. *Nanotechnology*. 22(10), pp. 105101, 2011.
- [34] Watson, C.Y., et al., Effects of zinc oxide nanoparticles on Kupffer cell phagosomal motility, bacterial clearance, and liver function. *International journal of nanomedicine*. 10(pp. 4173, 2015.
- [35] Schaepe, S.M., Engineering Graphene Oxide Membranes for Contaminant Removal and Bacterial Inactivation. 2015.
- [36] Akhavan, O. and E. Ghaderi, Escherichia coli bacteria reduce graphene oxide to bactericidal graphene in a self-limiting manner. *Carbon*. 50(5), pp. 1853-1860, 2012.
- [37] Krishnamoorthy, K., et al., Antibacterial efficiency of graphene nanosheets against pathogenic bacteria via lipid peroxidation. *The Journal of Physical Chemistry C*. 116(32), pp. 17280-17287, 2012.
- [38] Wu, M.-C., et al., Graphene-based photothermal agent for rapid and effective killing of bacteria. *ACS nano*. 7(2), pp. 1281-1290, 2013.
- [39] Some, S., et al., Dual functions of highly potent graphene derivative–poly-L-lysine composites to inhibit bacteria and support human cells. *ACS nano*. 6(8), pp. 7151-7161, 2012.
- [40] Li, R., C. Liu, and J. Ma, Studies on the properties of graphene oxide-reinforced starch biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 84(1), pp. 631-637, 2011.
- [41] Fan, Z., et al., A novel wound dressing based on Ag/graphene polymer hydrogel: effectively kill bacteria and accelerate wound healing. *Advanced Functional Materials*. 24(25), pp. 3933-3943, 2014.
- [42] Pham, V.T., et al., Graphene Induces Formation of Pores That Kill Spherical and Rod-Shaped Bacteria. *ACS nano*. 9(8), pp. 8458-8467, 2015.
- [43] Nellore, B.P.V., et al., Bio-Conjugated CNT-Bridged 3D Porous Graphene Oxide Membrane for Highly Efficient Disinfection of Pathogenic Bacteria and Removal of Toxic Metals from Water. *ACS applied materials & interfaces*. 7(34), pp. 19210, 2015.
- [44] Nellore, B.P., et al., Antimicrobial peptide-conjugated graphene oxide membrane for efficient removal and effective killing of multiple drug resistant bacteria. *RSC advances*. 5(24), pp. 18881-18887, 2015.
- [45] Chen, J., et al., Graphene oxide exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacterial phytopathogens and fungal conidia by intertwining and membrane perturbation. *Nanoscale*. 6(3), pp. 1879-1889, 2014.
- [46] Rago, I., et al. *Antimicrobial activity of graphene nanoplatelets against Streptococcus mutans*. in *Nanotechnology (IEEE-NANO), 2015 IEEE 15th International Conference on*. 2015. IEEE.
- [47] Zhong, L. and K. Yun, Graphene oxide-modified ZnO particles: synthesis, characterization, and antibacterial properties. *International journal of nanomedicine*. 10(pp. 79, 2015.
- [48] Djurišić, A.B., et al., Toxicity of metal oxide nanoparticles: mechanisms, characterization, and avoiding experimental artefacts. *Small*. 11(1), pp. 26-44, 2015.
- [49] Sharma, V., D. Anderson, and A. Dhawan, Zinc oxide nanoparticles induce oxidative DNA damage and ROS-triggered mitochondria mediated apoptosis in human liver cells (HepG2). *Apoptosis*. 17(8), pp. 852-870, 2012.
- [50] Gurunathan, S., et al., Oxidative stress-mediated antibacterial activity of graphene oxide and reduced graphene oxide in Pseudomonas aeruginosa. *Int J Nanomedicine*. 7(5901), pp. e14, 2012.
- [51] Fu, P.P., et al., Mechanisms of nanotoxicity: generation of reactive oxygen species. *Journal of food and drug analysis*. 22(1), pp. 64-75, 2014.
- [52] Fu, P.P., et al., Phototoxicity and environmental transformation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)—light-induced reactive oxygen species, lipid peroxidation, and DNA damage. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*. 30(1), pp. 1-41, 2012.
- [53] Li, Y., et al., Mechanism of photogenerated reactive oxygen species and correlation with the antibacterial properties of engineered metal-oxide nanoparticles. *Acs Nano*. 6(6), pp. 5164-5173, 2012.
- [54] Shi, M., et al., Effects of surface chemistry on the generation of reactive oxygen species by copper nanoparticles. *ACS nano*. 6(3), pp. 2157-2164, 2012.
- [55] Zhang, W., et al., Photogeneration of reactive oxygen species on uncoated silver, gold, nickel, and silicon nanoparticles and their antibacterial effects. *Langmuir*. 29(15), pp. 4647-4651, 2013.

- [56] Lyon, D.Y., et al., Antibacterial activity of fullerene water suspensions (nC60) is not due to ROS-mediated damage. *Nano letters*. 8(5), pp. 1539-1543, 2008.
- [57] Krishnamoorthy, K., et al., Antibacterial activity of MgO nanoparticles based on lipid peroxidation by oxygen vacancy. *Journal of Nanoparticle Research*. 14(9), pp. 1-10, 2012.
- [58] Leung, Y.H., et al., Mechanisms of Antibacterial Activity of MgO: Non-ROS Mediated Toxicity of MgO Nanoparticles Towards Escherichia coli. *Small*. 10(6), pp. 1171-1183, 2014.
- [59] Prabhu, S. and E.K. Poullose, Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*. 2(1), pp. 1-10, 2012.
- [60] Danilczuk, M., et al., Conduction electron spin resonance of small silver particles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 63(1), pp. 189-191, 2006.
- [61] Kim, J.S., et al., Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 3(1), pp. 95-101, 2007.
- [62] Seabra, A.B., et al., Nanotoxicity of graphene and graphene oxide. *Chemical research in toxicology*. 27(2), pp. 159-168, 2014.
- [63] Sanchez, V.C., et al., Biological interactions of graphene-family nanomaterials: an interdisciplinary review. *Chemical research in toxicology*. 25(1), pp. 15-34, 2011.
- [64] Liu, Y., et al., Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against Escherichia coli O157: H7. *Journal of Applied Microbiology*. 107(4), pp. 1193-1201, 2009.
- [65] Sirelkhatim, A., et al., Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*. 7(3), pp. 219-242, 2015.
- [66] Ma, J., et al., Preparation, characterization and antibacterial properties of silver-modified graphene oxide. *Journal of Materials Chemistry*. 21(10), pp. 3350, 2011.
- [67] Sonodi, I. and B. Salopek-Sonodi, Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of colloid and interface science*. 275(1), pp. 177-182, 2004.
- [68] Horie, M., et al., Association of the physical and chemical properties and the cytotoxicity of metal oxide nanoparticles: metal ion release, adsorption ability and specific surface area. *Metallomics*. 4(4), pp. 350-360, 2012.
- [69] Thill, A., et al., Cytotoxicity of CeO<sub>2</sub> nanoparticles for Escherichia coli. Physico-chemical insight of the cytotoxicity mechanism. *Environmental science & technology*. 40(19), pp. 6151-6156, 2006.
- [70] Eom, H.-J. and J. Choi, Oxidative stress of CeO<sub>2</sub> nanoparticles via p38-Nrf-2 signaling pathway in human bronchial epithelial cell, Beas-2B. *Toxicology letters*. 187(2), pp. 77-83, 2009.
- [71] Park, E.-J., et al., Oxidative stress induced by cerium oxide nanoparticles in cultured BEAS-2B cells. *Toxicology*. 245(1), pp. 90-100, 2008.
- [72] Kim, S., et al., Oxidative stress-dependent toxicity of silver nanoparticles in human hepatoma cells. *Toxicology in vitro*. 23(6), pp. 1076-1084, 2009.
- [73] Neal, A.L., et al., Can the soil bacterium *Cupriavidus necator* sense ZnO nanomaterials and aqueous Zn<sup>2+</sup> differentially? *Nanotoxicology*. 6(4), pp. 371-380, 2012.
- [74] Neal, A.L., What can be inferred from bacterium–nanoparticle interactions about the potential consequences of environmental exposure to nanoparticles? *Ecotoxicology*. 17(5), pp. 362-371, 2008.
- [75] Applerot, G., et al., Understanding the antibacterial mechanism of CuO nanoparticles: revealing the route of induced oxidative stress. *Small*. 8(21), pp. 3326-3337, 2012.
- [76] Leung, Y., et al., Antibacterial activity of ZnO nanoparticles with a modified surface under ambient illumination. *Nanotechnology*. 23(47), pp. 475703, 2012.
- [77] Pagnout, C., et al., Role of electrostatic interactions in the toxicity of titanium dioxide nanoparticles toward Escherichia coli. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 92(pp. 315-321, 2012.
- [78] Gogniat, G., et al., The bactericidal effect of TiO<sub>2</sub> photocatalysis involves adsorption onto catalyst and the loss of membrane integrity. *FEMS microbiology letters*. 258(1), pp. 18-24, 2006.
- [79] Zhang, L., et al., Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *Journal of Nanoparticle Research*. 9(3), pp. 479-489, 2007.
- [80] Akhavan, O. and E. Ghaderi, Toxicity of graphene and graphene oxide nanowalls against bacteria. *ACS nano*. 4(10), pp. 5731-5736, 2010.
- [81] Liu, S., et al., Antibacterial activity of graphite, graphite oxide, graphene oxide, and reduced graphene oxide: membrane and oxidative stress. *ACS nano*. 5(9), pp. 6971-6980, 2011.
- [82] Hatchett, D.W. and H.S. White, Electrochemistry of sulfur adlayers on the low-index faces of silver. *The Journal of Physical Chemistry*. 100(23), pp. 9854-9859, 1996.

- [83] Kokubo, H., et al., Multi-core cable-like TiO<sub>2</sub> nanofibrous membranes for dye-sensitized solar cells. *Nanotechnology*. 18(16), pp. 165604, 2007.
- [84] Hajipour, M.J., et al., Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*. 30(10), pp. 499-511, 2012.
- [85] Jiang, J., G. Oberdörster, and P. Biswas, Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticle dispersions for toxicological studies. *Journal of Nanoparticle Research*. 11(1), pp. 77-89, 2009.
- [86] Kim, D.S. and S.-Y. Kwak, Photocatalytic inactivation of E. coli with a mesoporous TiO<sub>2</sub> coated film using the film adhesion method. *Environmental science & technology*. 43(1), pp. 148-151, 2008.
- [87] Kiser, M., et al., Titanium nanomaterial removal and release from wastewater treatment plants. *Environmental science & technology*. 43(17), pp. 6757-6763, 2009.
- [88] Park, S., et al., Toxic effects of titanium dioxide nanoparticles on microbial activity and metabolic flux. *Biotechnology and bioengineering*. 17(2), pp. 276-282, 2012.
- [89] Tong, T., et al., Cytotoxicity of commercial nano-TiO<sub>2</sub> to Escherichia coli assessed by high-throughput screening: effects of environmental factors. *Water research*. 47(7), pp. 2352-2362, 2013.
- [90] Xiong, S., et al., Size of TiO<sub>2</sub> nanoparticles influences their phototoxicity: an in vitro investigation. *Archives of toxicology*. 87(1), pp. 99-109, 2013.
- [91] Lin, X., et al., Toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles to Escherichia coli: effects of particle size, crystal phase and water chemistry. *PloS one*. 9(10), pp. e110247, 2014.
- [92] Yamamoto, O., Influence of particle size on the antibacterial activity of zinc oxide. *International Journal of Inorganic Materials*. 3(7), pp. 643-646, 2001.
- [93] Jones, N., et al., Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS microbiology letters*. 279(1), pp. 71-76, 2008.
- [94] Padmavathy, N. and R. Vijayaraghavan, A comparative study on antibacterial properties of MgO nanoparticles prepared under different calcination temperature. *Enhanced Science and Technology of Advanced Material*. 8(1)2008.
- [95] Ohira, T., et al., Antibacterial activity of ZnO powder with crystallographic orientation. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 19(3), pp. 1407-1412, 2008.
- [96] Liu, J., J. Tang, and J.J. Gooding, Strategies for chemical modification of graphene and applications of chemically modified graphene. *Journal of Materials Chemistry*. 22(25), pp. 12435-12452, 2012.
- [97] Liu, S., et al., Lateral dimension-dependent antibacterial activity of graphene oxide sheets. *Langmuir*. 28(33), pp. 12364-12372, 2012.
- [98] Yamamoto, N., et al., Inhibitory mechanism by polysialic acid for lamina-specific branch formation of thalamocortical axons. *The Journal of Neuroscience*. 20(24), pp. 9145-9151, 2000.
- [99] Lin, Y.-S. and C.L. Haynes, Synthesis and characterization of biocompatible and size-tunable multifunctional porous silica nanoparticles. *Chemistry of Materials*. 21(17), pp. 3979-3986, 2009.
- [100] Manna, P., et al., Contribution of nano-copper particles to in vivo liver dysfunction and cellular damage: Role of IκBα/NF-κB, MAPKs and mitochondrial signal. *Nanotoxicology*. 6(1), pp. 1-21, 2012.
- [101] Miranda, M., et al., Ceramic/metal biocidal nanocomposites for bone-related applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 23(7), pp. 1655-1662, 2012.
- [102] Liu, Y. and H.-I. Kim, Characterization and antibacterial properties of genipin-crosslinked chitosan/poly (ethylene glycol)/ZnO/Ag nanocomposites. *Carbohydrate polymers*. 89(1), pp. 111-116, 2012.
- [103] Wang, X., et al., A study on the antibacterial activity of one-dimensional ZnO nanowire arrays: effects of the orientation and plane surface. *Chemical Communications*42), pp. 4419-4421, 2007.
- [104] Nguyen, D.T., et al., Dual interactions of amphiphilic gelatin copolymer and nanocurcumin improving the delivery efficiency of the nanogels. *Polymers*. 11(5), pp. 814, 2019.
- [105] Nguyen, N.N.T., et al., Synergic activity against MCF-7 breast cancer cell growth of nanocurcumin-encapsulated and cisplatin-complexed nanogels. *Molecules*. 23(12), pp. 3347, 2018.
- [106] Vo, Q.V. and Q.C. Le, Chế tạo giấy kháng khuẩn từ nano Bạc và giấy Dó truyền thống của Việt Nam. 2019.
- [107] Bao, V.-V.Q., L.D. Vuong, and L.V. Luan, Biomimetic synthesis of silver nanoparticles for preparing preservative solutions for mandarins (*Citrus Deliciosa* Tenore). *Nano LIFE*. 8(01), pp. 1850003, 2018.
- [108] Ngo, T.M.P., et al., Characteristics and Antimicrobial Properties of Active Edible Films Based on Pectin and Nanochitosan. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(6), pp. 2224, 2020.
- [109] Duong, H.T., et al., Occurrence of perfluoroalkyl acids in environmental waters in Vietnam. *Chemosphere*. 122(1), pp. 115-124, 2015.

- [110] Nguyen, T.H., et al., Laterite as a low-cost adsorbent in a sustainable decentralized filtration system to remove arsenic from groundwater in Vietnam. *Science of The Total Environment*. 699(pp. 134267, 2020.
- [111] Nu, D.T.T., et al., Preparation and characterization of nano  $\delta$ -MnO<sub>2</sub>-blended cellulose acetate membrane. *Vietnam Journal of Chemistry*. 57(6), pp. 741-746, 2019.
- [112] Tran, H., et al., Pilot Study of Brackish Water Treatment using Dual Stage Nanofiltration for Domestic Use in Thu Bon Basin, Vietnam. *Journal of Membrane Science and Research*. 4(2), pp. 69-73, 2018.
- [113] Bộ Khoa học và Công nghệ, Một số kết quả hỗ trợ thương mại hóa kết quả nghiên cứu công nghệ nano. 2018.
- [114] Nam, W.V., Vải kháng khuẩn nano thiên nhiên của người Việt. *ThanhNien*2020.
- [115] Đại học Khoa học Tự nhiên TP. HCM, Nghiên cứu ứng dụng nhiều vật liệu Nano tiên tiến trong phát triển xanh. 2020.
- [116] Bộ Khoa học và Công nghệ- Cục thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc Gia, Nghiên cứu ứng dụng công nghệ nano trong trồng điều. 2019.
- [117] Green, P.A., Sản phẩm trị ho đầu tiên ứng dụng công nghệ nano tại Việt Nam. 2019.

*Ngày nhận bài: 01/04/2020*

*Ngày chấp nhận đăng: 19/08/2020*