

镧和铈对蜡状芽孢杆菌抗性、生长及胞内核酸的影响

柴瑞娟¹ 黄彬¹ 王玉良^{2*}

(1. 安徽工程大学 生物与化学工程学院 安徽 芜湖 241000)

(2. 安徽科技学院 生命科学学院 安徽 凤阳 233100)

摘要: 【目的】研究稀土元素对细菌生理效应的影响及机理。【方法】用抑菌圈法和光电比浊法测定了硝酸镧和硝酸铈对蜡状芽孢杆菌抗性及生长的影响,并用傅立叶变换红外光谱和荧光分光光度法研究了细菌细胞壁及胞内 DNA 的结构。【结果】40–50 mg/L 硝酸镧增强了细菌对 9%石炭酸, 0.135%升汞, 8×10^5 U/mL 青霉素的抗性; 40–50 mg/L 硝酸铈增强了细菌对 9%石炭酸, 0.135%升汞, 8×10^5 U/mL 青霉素和 75%次氯酸钠的抗性; 稀土元素会加快蜡状芽孢杆菌生长和繁殖速度, 同时高浓度稀土元素的促进作用要比低浓度时更明显, 表明稀土元素可以刺激细菌繁殖; 红外光谱表明稀土元素会影响细菌细胞壁肽聚糖结构, 荧光分光光度法结果显示稀土元素会影响细菌胞内 DNA 的结构。【结论】细菌抗性的改变可能与细胞壁肽聚糖结构受到影响有关; 稀土元素对 DNA 的影响可能是抗性和生长受到影响的根本原因。

关键词: 蜡状芽孢杆菌, 稀土元素, 抗性和生长, 细胞壁, DNA

Effect on resistance, growth and DNA of *Bacillus cereus* treated by La^{3+} and Ce^{3+}

CHAI Rui-Juan¹ HUANG Bin¹ WANG Yu-Liang^{2*}

(1. College of Biochemical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

(2. Bioscience College, Anhui Science and Technical University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: [Objective] The physiological effect of rare earth element (REE) on microorganism resistance, growth and its mechanism were studied in this work. [Methods] The effects of REE on resistance and growth of *Bacillus cereus* were investigated through inhibition zone method and photoelectric turbidimetry method, respectively, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and fluorescence spectroscopy were used to examine the change in structure of cell wall and nucleic acid (DNA). [Results] Resistance of bacteria to 9% Carbolic acid, 0.135% HgCl_2 and 8×10^5 U/mL Penicillin enhanced by 40–50 mg/L $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, meanwhile, resistance to 9% Carbolic acid, 0.135% HgCl_2 , 8×10^5 U/mL Penicillin and 75% NaClO_3 enhanced by 40–50 mg/L $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. Fission of bacteria could be faster due to treatment of REE, effect of more $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ or $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ was better than less them. The structure changes of peptidoglycan characterized by FTIR indicated the effect of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ and $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ on cell wall. Therefore, modification of resistance was considered related to it. The structure of DNA could be affected by REE through fluorescence spectroscopy. [Conclusion] The change of DNA structure was the basic cause that effect on resistance and growth of REE.

Keywords: *Bacillus cereus*, Rare earth element, Resistance and growth, Cell wall, DNA

随着科学研究的深入,发现稀土元素有类似钙的性质,有广泛的生物学效应,稀土元素生物效应研究是我国稀土研究的热点。以小鼠为研究对象,利用全细胞膜片钳技术,发现细胞外液中的稀土镧可增强小鼠成骨细胞兴奋性,使细胞外钙流向细胞内,引起胞内钙离子浓度增加^[1]。藏红花是名贵中药材,可以活血祛瘀。稀土元素在藏红花的组织培养研究中有一定正面效应,微量的 La^{3+} (0.04 mmol/L)能促进藏红花胚性愈伤组织的生长,繁殖系数是不添加稀土的 1.48 倍^[2]。稀土元素除了影响动物和植物细胞的各种生理功能,还在分子水平上有一定生物学效应, La^{3+} 、 Nd^{3+} 、

Sm^{3+} 、 Gd^{3+} 和 Y^{3+} 对纤维素酶活性均有一定影响^[3]。钙是细胞内的第二信使,与钙调蛋白协同作用起到调节植物生长发育的功能,因此一直有人关注稀土元素与钙作用之间的关系,发现稀土离子可干扰钙的正常功能,置换出酶中的钙而参与酶的反应^[4]。

目前稀土元素生理作用研究主要是以植物为材料^[5],并且还很不系统。以微生物^[6]为研究对象的报道也主要侧重于研究稀土元素对微生物生理现象的影响,机理探讨的报道还不多见。而且,植物细胞具有非常复杂的结构和生理功能,其研究过程和结果不像结构简单的原核细菌那样简便明了,本研究着眼于当前现实,以从茶叶中分

离到的一株内生细菌为实验材料,从细胞壁结构和胞内核酸的角度研究稀土元素的作用及机理,不仅承续了前人的工作,同时也弥补了此方面基础研究的不足,为稀土元素应用安全提供一定理论依据,并力求对此类研究进行延伸。

1 材料与方 法

1.1 试剂和仪器

水合硝酸镧、水合硝酸铈、氯化钠、无水乙醇、Tris、盐酸,均为分析纯(AR),国药集团化学试剂有限公司生产;酵母膏、蛋白胨、生化试剂(BR)由国药集团化学试剂有限公司生产;小牛胸腺 DNA (Sigma, 生化试剂);柱式细菌基因组 DNA 抽提试剂盒(购于上海生工)。

全自动不锈钢双层立式电热压力蒸汽消毒器(YX400III, 上海锐安自动化仪表有限公司);超净工作台(SW-CJ-1FD, 上海玺恒实业有限公司);恒温恒湿振荡培养箱(BS-4G, 常州国华电器有限公司);超速离心机(Sigma 3K15);紫外可见分光光度计(UV-3600, 日本岛津);傅立叶变换红外光谱仪(IRPrestige-21, 日本岛津);荧光分光光度计(RF-5301PC, 日本岛津)

1.2 菌株

蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),本实验室从安徽池州某茶园的茶树鲜叶中分离后经上海生工 16S rDNA 全序列鉴定后保存。

1.3 稀土元素对蜡状芽孢杆菌抗性的影响—抑菌圈法^[7]

配制添加稀土元素离子浓度为 0、10、20、30、40、50、100、200、500、800、1 000 mg/L 的液体 LB 培养基各 200 mL,分别接入浓度 10^6 个/mL 的菌悬液 0.5 mL,于 30 °C、150 r/min 振荡培养 24 h。吸取培养好的菌悬液 0.1 mL 于附加相应浓度稀土元素的固体 LB 培养基上,涂布均匀后贴上分别蘸有 0.135%升汞、9%苯酚、75%

次氯酸钠和 80 万 U/mL 青霉素溶液的滤纸片,于 37 °C 恒温培养 24 h,测量抑菌圈的大小,重复 5 次。为了说明稀土元素存在时蜡状芽孢杆菌对化学物质抗性的变化,对稀土元素处理后的抑菌圈直径和未经处理的对照组(CK)使用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析(*t*-test)。

1.4 稀土元素对蜡状芽孢杆菌细胞壁影响的红外分析

配制添加稀土元素离子浓度为 0、200、500、700 mg/L 的液体 LB 培养基各 200 mL,分别接入浓度 10^6 个/mL 的菌悬液 0.5 mL,于 30 °C、150 r/min 振荡培养 24 h 后离心(5 000 r/min)将菌体沉淀,蒸馏水冲洗菌体 3 次后烘干,溴化钾压片进行红外光谱分析^[8]。

1.5 稀土元素对蜡状芽孢杆菌生长的影响—光电比浊法

配制下列培养基, LB、LB+100 mg/L La(NO₃)₃、LB+200 mg/L La(NO₃)₃、LB+100 mg/L Ce(NO₃)₃ 和 LB+200 mg/L Ce(NO₃)₃,分别接入浓度 10^6 个/mL 的菌悬液 0.5 mL,于 30 °C、150 r/min 连续振荡培养 36 h,每隔 3 h 取菌悬液于 450 nm 测定吸光度,重复 3 次,绘制生长曲线。

1.6 稀土元素对蜡状芽孢杆菌胞内 DNA 影响的荧光分析

1.6.1 蜡状芽孢杆菌胞内 DNA 提取:先将细菌分别用少量液体 LB 培养基活化 12 h (30 °C、150 r/min),测定 A₄₅₀ 值,超净工作台中用新鲜培养基将菌悬液吸光度调到 0.2,无菌移液管各吸取 0.1 mL 菌悬液于附加硝酸铈(200 mg/L)和硝酸镧(200 mg/L)的新鲜液体培养基中培养 16 h (30 °C、150 r/min),同时以不添加稀土元素的培养基培养细菌为对照(CK),按照 DNA 提取试剂盒说明提取细菌染色体基因组 DNA。

1.6.2 胞内 DNA 荧光分析:用 TE 缓冲液将提取到的细菌 DNA 溶解并在紫外分光光度计下确定

浓度,使其 A_{260} 均在 0.20, 参照参考文献[9]进行荧光光谱分析, 激发波长 260.0 nm, 激发狭缝宽度 5.0 nm, 发射狭缝宽度 5.0 nm, 扫描范围 220.0–500.0 nm。

2 结果与分析

2.1 稀土元素对蜡状芽孢杆菌抗性的影响

环境的改变对细菌的生长会产生一定影响,

外界条件不适宜时, 会使细菌生长受到抑制, 甚至导致死亡。常用抑菌圈法来测定某些有毒有害物如化学消毒剂或抗生素对细菌生长的影响。

石碳酸和重金属离子 Hg^{2+} 可以使菌体蛋白质变性而对细菌产生毒害, 次氯酸钠是强氧化剂, 也会对菌体产生毒害, 而青霉素是通过影响细菌的细胞壁合成影响细菌生长, 他们都有不同程度的抑菌或杀菌能力。如表 1 所示, 经稀土元素处

表 1 硝酸镧和硝酸铈对蜡状芽孢杆菌抵抗 4 种化学物质抗性的影响
Table 1 Effect of $La(NO_3)_3$ and $Ce(NO_3)_3$ on anti-chemical substances of *B. cereus*

稀土元素 REE	不同物质处理的抑菌圈直径 Antibacterial circle diameter (cm)				
	浓度 Concentration (mg/L)	石炭酸 Carbolic acid (9%)	次氯酸钠 $NaClO_3$ (75%)	升汞 $HgCl_2$ (0.135%)	青霉素 Penicillin (8×10^5 U/mL)
CK	0	1.90	0.56	2.25	1.60
La^{3+}	10	1.83	0.61	2.28	1.35
La^{3+}	20	1.85	0.53	2.15	1.34
La^{3+}	30	1.67*	0.42	1.80	1.30
La^{3+}	40	1.65*	0.34	1.71*	1.25*
La^{3+}	50	1.53*	0.35	1.66*	1.25*
La^{3+}	100	1.85	0.57	1.60	1.45
La^{3+}	200	2.00	1.11	1.95	1.48
La^{3+}	500	1.99	1.27	2.52	1.91
La^{3+}	800	—	—	—	—
La^{3+}	1 000	—	—	—	—
Ce^{3+}	10	2.17	0.75	1.99	1.65
Ce^{3+}	20	2.09	0.75	1.97	1.35
Ce^{3+}	30	1.93	0.61	1.68	1.30
Ce^{3+}	40	1.72*	0.56	1.35*	1.40
Ce^{3+}	50	1.82	0.42*	1.45*	1.40*
Ce^{3+}	100	1.90	0.58	1.61	1.45*
Ce^{3+}	200	2.00	0.72	1.65	1.50
Ce^{3+}	500	2.19	0.76	1.85	1.55
Ce^{3+}	800	2.13	0.75	2.06	1.69
Ce^{3+}	1 000	—	—	—	—

注: *: $0.01 < P < 0.05$; -: 没有细菌生长.

Note: *: $0.01 < P < 0.05$; -: No bacteria.

理后, 以上 4 种化学物质对蜡状芽孢杆菌的抑制作用与对照组相比有一定变化, $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 和 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 在 40–50 mg/L 时基本都会使抑菌圈直径变小, 达到显著水平 ($P < 0.05$), 表明适当浓度稀土元素处理会增强蜡状芽孢杆菌对化学物质的抗性, 但稀土元素浓度太高时(1 000 mg/L)又会影响细菌的正常生长。

2.2 稀土元素对蜡状芽孢杆菌细胞壁影响的红外分析

依据文献[10]对各峰进行归属, $3\ 427.51\ \text{cm}^{-1}$ 属仲酰胺游离的 N–H 伸缩振动, $1\ 654.92\ \text{cm}^{-1}$ 属酰胺的 C=O 伸缩振动, 称酰胺 I 峰, $1\ 074.35\ \text{cm}^{-1}$ 属于醇的 C–O 伸缩振动, 其具体归属及透过率见表 2, 原图见图 1 和图 2。

表 2 稀土元素对蜡状芽孢杆菌细胞壁影响的红外分析(波数及归属)
Table 2 Significant IR absorption frequencies (cm^{-1}) and T (%) of *Bacillus cereus* by La^{3+} and Ce^{3+}

稀土元素 REE	浓度 Concentration (mg/L)	波数和透过率 Absorption frequencies (cm^{-1}) and T (%)					
		$\nu_{\text{N-H}}$ (cm^{-1})	T (%)	$\nu_{\text{C=O}}$ (cm^{-1})	T (%)	$\nu_{\text{C-O}}$ (cm^{-1})	T (%)
CK	0	3 427.51	20.61	1 654.92	19.73	1 068.56	26.98
La^{3+}	200	3 427.51	13.54	1 654.92	17.34	1 064.71	22.41
La^{3+}	500	3 421.72	2.17	1 652.99	4.34	1 056.99	7.81
La^{3+}	700	3 421.72	2.60	1 652.99	2.57	1 060.85	2.40
Ce^{3+}	200	3 437.15	25.28	1 643.35	29.14	1 070.49	33.94
Ce^{3+}	500	3 425.58	16.30	1 647.21	16.80	1 060.85	19.96
Ce^{3+}	700	3 427.51	21.67	1 635.64	26.98	1 070.49	29.66

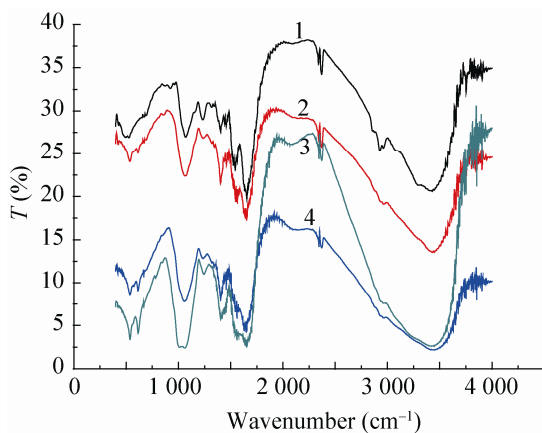


图 1 硝酸镧对蜡状芽孢杆菌细胞壁影响的红外图谱
Fig. 1 FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{La}(\text{NO}_3)_3$

注: 1: 对照组蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 2: $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 3: $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 500 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 4: $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 700 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱。

Note: 1: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus*; 2: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L; 3: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 500 mg/L; 4: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 700 mg/L.

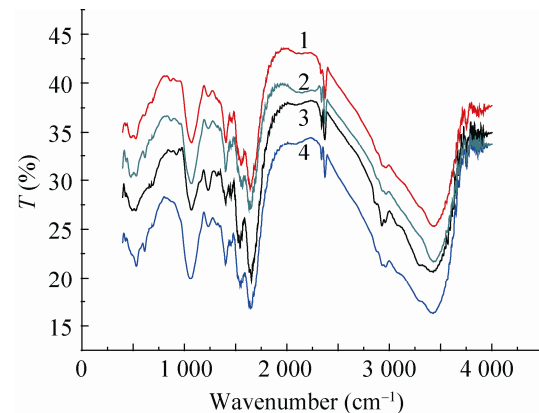


图 2 硝酸铈对蜡状芽孢杆菌细胞壁影响的红外图谱
Fig. 2 FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$

注: 1: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 2: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 700 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 3: 对照组蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱; 4: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 500 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌细胞壁红外图谱。

Note: 1: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L; 2: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 700 mg/L; 3: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus*; 4: FTIR spectra of cell wall from *B. cereus* by $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 500 mg/L.

$\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 处理后 $3\ 427.51\ \text{cm}^{-1}$ 处仲酰胺游离的 N-H 伸缩振动, $1\ 654.92\ \text{cm}^{-1}$ 处酰胺的 C=O 伸缩振动, $1\ 074.35\ \text{cm}^{-1}$ 处醇的 C-O 伸缩振动对红外光谱的吸收有不同程度红移, 透过率均比对照降低, 并且与 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 浓度有关, 表明 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 浓度越高对细胞壁结构影响越大。

$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 处理后情况较复杂, $1\ 654.92\ \text{cm}^{-1}$ 处酰胺的 C=O 伸缩振动红移, $3\ 427.51\ \text{cm}^{-1}$ 处和 $1\ 074.35\ \text{cm}^{-1}$ 处既有红移又有蓝移, 且各处对红外光谱的吸收透过率变化也无确切规律, 但与对照相比均发生了不同程度的改变, 表明 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 也会对细胞壁结构产生一定影响, 与 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 影响的差别可能是因为这两种稀土元素之间性质差异造成的。

2.3 稀土元素对蜡状芽孢杆菌抗性影响的机理

细胞壁是细菌细胞结构完整必不可少的成分, 不仅可以维持细胞形状, 也可以保证细胞渗透压, 保护细胞不受外界环境干扰。革兰氏阳性菌对乳链菌肽产生抗性的原因之一就是细胞壁结构的改变^[11]。以上红外光谱波数主要是细胞壁肽聚糖成分的归属, 稀土元素造成这些基团红外光谱变化, 说明稀土元素影响到了细胞壁中肽聚糖的结构, 从而影响到了细胞壁的结构。细胞壁结构的变化也可能是蜡状芽孢杆菌抗性改变的原因。

2.4 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 对蜡状芽孢杆菌生长的影响

细菌的生长是胞内物质倍增后经过细胞分裂使细菌数目增加的过程, 呈 S 型生长曲线。

如图 3、4 所示, 与对照相比, 加入稀土元素后会促进蜡状芽孢杆菌生长和繁殖的速度, 并且这种促进作用与稀土元素浓度呈正相关, 鲁宽科等研究发现氯化铈和氧化铈也可以促进大黄愈伤组织细胞的生长^[12-13], 表明稀土元素促进细胞繁殖的生理作用是较广泛的。

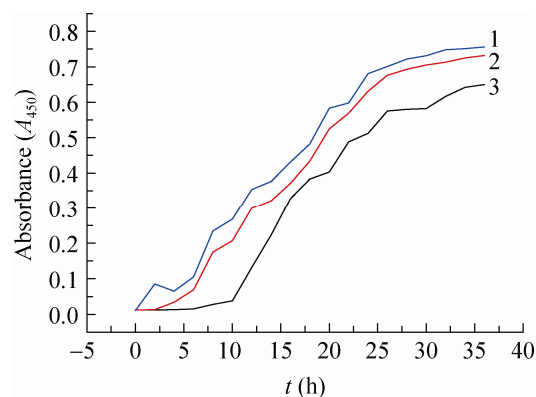


图 3 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 对蜡状芽孢杆菌生长的影响

Fig. 3 Growth curve of *B. cereus* by $\text{La}(\text{NO}_3)_3$

注: 1: $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌生长曲线; 2: $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 100 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌生长曲线; 3: 对照组蜡状芽孢杆菌生长曲线。

Note: 1: LB+ $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L; 2: LB+ $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 100 mg/L; 3: LB.

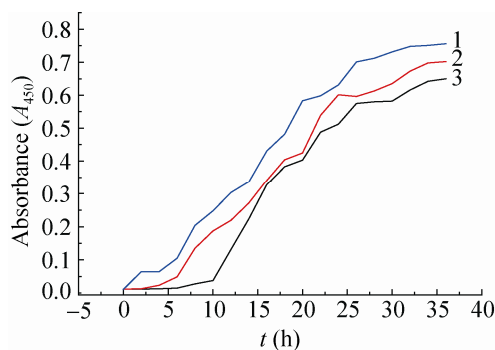


图 4 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 对蜡状芽孢杆菌生长的影响

Fig. 4 Growth curve of *B. cereus* by $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$

注: 1: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌生长曲线; 2: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 100 mg/L 处理后蜡状芽孢杆菌生长曲线; 3: 对照组蜡状芽孢杆菌生长曲线。

Note: 1: LB+ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 200 mg/L; 2: LB+ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 100 mg/L; 3: LB.

2.5 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 和 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 对蜡状芽孢杆菌 DNA 影响的荧光光谱分析

荧光分析法是分子发光分析方法, 已经广泛应用于无机和有机化合物的分析中。

经 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 和 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 处理后蜡状芽孢杆菌 DNA 的荧光强度都比对照有所增强, 可以增

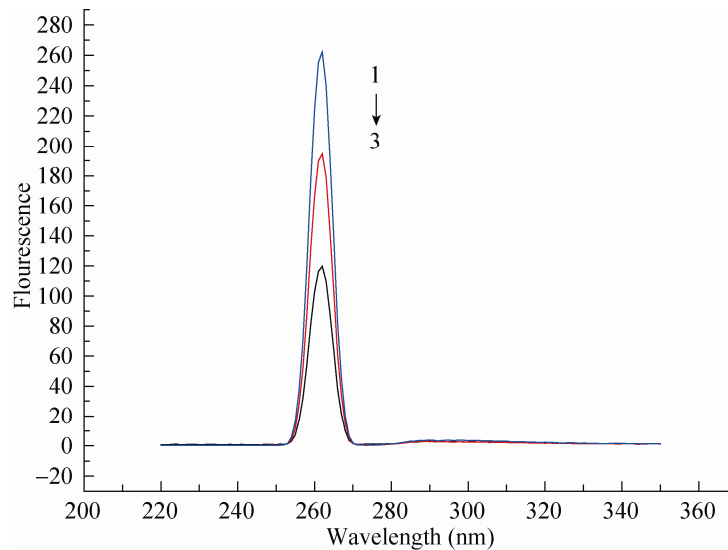


图5 稀土元素对蜡状芽孢杆菌 DNA 影响的荧光光谱分析

Fig. 5 Effects on $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ and $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ on the fluorescence spectra of DNA from *B. cereus*

注: 1: 200 mg/L $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 处理后蜡状芽孢杆菌 DNA 荧光光谱; 2: 200 mg/L $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 处理后蜡状芽孢杆菌 DNA 荧光光谱; 3: 对照组蜡状芽孢杆菌 DNA 荧光光谱。

Note: 1: DNA from *B. cereus* treated by 200 mg/L $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$; 2: DNA from *B. cereus* treated by 200 mg/L $\text{La}(\text{NO}_3)_3$; 3: CK.

强化合物荧光强度的因素有很多, 如果稀土元素与 DNA 作用后形成配位化合物, 就会使 DNA 分子双螺旋结构更紧密, 使碱基环不能自由旋转而成为刚性分子, 共轭 π 电子共平面型增大, 使荧光效率大大增加; 或者某些可以减弱分子的 π 电子共轭程度的吸电子基团如 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{C}=\text{O}$ 、 $-\text{ON}_2$ 、 $-\text{ON}$ 、 $-\text{SH}$ 、 $-\text{F}$ 、 $-\text{Cl}$ 、 $-\text{Br}$ 、 $-\text{I}$ 等的脱落也会使荧光强度增加, 本研究中 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 和 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 对 DNA 结构的具体影响还有待进一步探讨。

3 讨论

适当浓度稀土元素可以影响蜡状芽孢杆菌抵抗化学物质的抗性, 一般来说, 低浓度稀土元素会使其抗性增强, 高浓度稀土元素会降低抗性, 这种抗性的改变可能与细菌细胞壁结构受到影响有关, 因为傅立叶红外光谱分析显示稀土元素会影响到细菌细胞壁主要是肽聚糖的结构。稀土元素可以刺激蜡状芽孢杆菌加快细胞分裂, 快速

进入对数期, 表明稀土元素可以促进细胞繁殖。荧光光谱分析表明稀土元素对蜡状芽孢杆菌胞内核酸的结构有一定影响, 核酸结构的变化可能是细菌抗性、生长速率变化的真正原因。稀土元素有可能在细胞增殖过程中使其核酸基因发生突变, 核酸基因的突变可能引起核酸结构的变化, 但具体结论还有待深入研究。

参考文献

- [1] 张丽平, 杨频. 镧对 MC3T3 细胞钙激活钾电流及其动力学的影响[J]. 中国科学: 化学, 2010, 40(8): 1011-1017.
- [2] 陈书安, 王晓东, 赵兵, 等. 应用稀土调控藏红花胚性愈伤组织的生长与分化[J]. 植物学报, 2010, 45(5): 609-614.
- [3] 曹永范, 张冬艳, 王丽, 等. 稀土离子对纤维素酶活性的影响[J]. 内蒙古工业大学学报, 2010, 29(2): 104-106.
- [4] Diatloff E, Smith FW, Asher CJ. Effect of rare earth elements on the growth and mineral nutrition of

- plants[J]. Rare Earth Agric seminar, 1995(1): 11-23.
- [5] 曹剑峰, 张鹏英, 陈靠山. 稀土钷元素的生物学效应及机制研究进展[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(4): 325-328.
- [6] 徐淑霞, 张世敏, 王慧琴, 等. 黄孢原毛平革菌210对稀土离子的吸附作用研究[J]. 中国稀土学报, 2010, 28(2): 225-231.
- [7] 沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 100.
- [8] 刘晓, 唐文婷, 李倩, 等. 用傅里叶变换红外光谱研究增强UV-B辐射对PS II蛋白结构的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(1): 65-68.
- [9] 张敏, 张宇昊, 马良. β -环糊精及其衍生物、金属离子协同增敏黄曲霉 B1的荧光光谱分析及应用研究[J]. 分析化学, 2011, 39(12): 1907-1911.
- [10] 张正奇. 分析化学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2006: 265-294.
- [11] 初晓东, 林宇恒, 孙志增, 等. 乳链菌肽(nisin)抗性机制的研究进展[J]. 微生物学报, 2010, 50(9): 1129-1134.
- [12] 鲁宽科, 陈保卫, 王夔, 等. 氯化铈对大黄愈伤组织生长及超微结构的影响[J]. 中国稀土学报, 1998, 16(4): 371-374.
- [13] 鲁宽科, 常振战, 陈宝卫, 等. 稀土元素对植物的激素样作用[J]. 北京医科大学学报, 1997, 29(4): 289-291.

~~~~~  
(上接 p.2170)

## 征 稿 简 则

### 3.3 摘要写作注意事项

3.3.1 英文摘要: 1) 建议使用第一人称, 以此可区分研究结果是引用文献还是作者得出的; 2) 建议用主动语态, 被动语态表达拖拉模糊, 尽量不用, 这样可以避免长句, 以求简单清晰; 3) 建议使用过去时态, 要求语法正确, 句子通顺; 4) 英文摘要的内容应与中文摘要一致, 但可比中文摘要更详尽, 写完后务必请英文较好且专业知识强的专家审阅定稿后再返回编辑部。5) 摘要中不要使用缩写语, 除非是人人皆知的, 如: DNA, ATP 等; 6) 在英文摘要中, 不要使用中文字体标点符号。

3.3.2 关键词: 应明确、具体, 一些模糊、笼统的词语最好不用, 如基因、表达……

## 4 特别说明

### 4.1 关于测序类论文

凡涉及测定 DNA、RNA 或蛋白质序列的论文, 请先通过国际基因库 EMBL (欧洲)或 GenBank (美国)或 DDBJ (日本), 申请得到国际基因库登录号 (Accession No.)后再投来。

### 4.2 关于版权

4.2.1 本刊只接受未公开发表的文章, 请勿一稿两投。

4.2.2 凡在本刊通过审稿、同意刊出的文章, 所有形式的(即各种文字、各种介质的)版权均属本刊编辑部所有。作者如有异议, 敬请事先声明。

4.2.3 对录用的稿件编辑部有权进行文字加工, 但如涉及内容的大量改动, 将请作者过目同意。

4.2.4 文责自负。作者必须保证论文的真实性, 因抄袭剽窃、弄虚作假等行为引发的一切后果, 由作者自负。

### 4.3 审稿程序及提前发表

4.3.1 来稿刊登与否由编委会最后审定。对不录用的稿件, 一般在收稿 2 个月之内通过 E-mail 说明原因, 作者登陆我刊系统也可查看。稿件经过初审、终审通过后, 作者根据编辑部返回的退修意见进行修改补充, 然后以投稿时的用户名和密码登陆我刊系统上传修改稿, 待编辑部复审后将给作者发稿件录用通知单, 稿件按照投稿先后排队发表。

4.3.2 对投稿的个人和单位一视同仁。坚持文稿质量为唯一标准, 对稿件采取择优先登的原则。如作者要求提前发表, 请在投稿的同时提出书面报告, 说明该研究成果的重要性、创新性、竞争性和提前发表的必要性, 经过我刊的严格审查并通过后, 可予提前刊出。

## 5 发表费及稿费

论文一经录用, 将在发表前根据版面收取一定的发表费并酌付稿酬、赠送样刊。

## 6 联系方式

地址: 北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部(100101)

Tel: 010-64807511

E-mail: tongbao@im.ac.cn

网址: <http://journals.im.ac.cn/wswxtbcn>