

丁酸梭菌 在水产动物中的研究应用

朱振祥
2019.1.6

CONTENTS 目录

- 01 ● 丁酸梭菌的形态与培养
- 02 ● 丁酸梭菌的生理功能
- 03 ● 丁酸梭菌在生产中的应用
- 04 ● 丁酸梭菌在水产动物中的应用

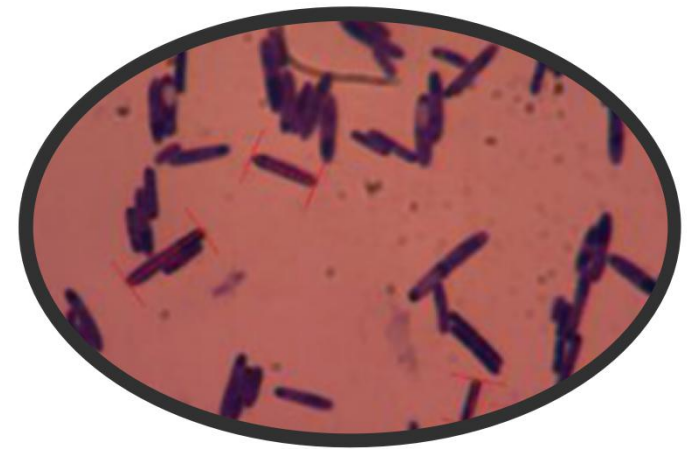
01

丁酸梭菌的形态与培养

丁酸梭菌的形态与培养

1933年日本千叶医科大学宫人近治博士发现丁酸梭菌，又被称为宫人菌、酪酸菌、丁酸梭状芽孢杆菌和酪酸梭菌，是梭菌属、芽孢杆菌科严格厌氧的革兰氏阳性厌氧细菌，可产生丁酸（熊祖名，2011），并在培养过滤物中含有少量脂肪酸。

菌体呈直杆状或稍有弯曲，单个或成对，灰白色，细菌直径为 $(0.5-1.7) \times (2.4-7.6) \mu\text{m}$ ，两端钝圆，周身鞭毛，具运动性；芽孢偏心或次端生（内生），呈圆形或椭圆形，无孢外壁和附属丝。在琼脂平板上形成白色或奶油色的不规则圆形菌落，稍突，表面湿润光滑，不透明，略有酸臭味（李雄彪等，2006；易中华等，2012）。



丁酸梭菌的形态与培养

酸梭菌培养工艺可分为**固体发酵**与**液体深层发酵**。

固体发酵与液体发酵相比较而言，具有**产品分离难、生长难控制、方法不成熟**等缺点。

但**固体发酵投资少、设备与操作简单及其发酵来源广泛**（农副产品、淀粉质原料、食品工业下脚料等）和发酵产品益于长时间贮藏运输。

研究表明，魏伟群等（魏，2011）以豆粕为培养基质，接种14%，30℃发酵72h后，菌体浓度可达 1.08×10^8 cfu/mL。此外，谢全喜（谢，2013）麦麸：豆粕=1：1优化组合，CaCl₂为0.2%，接种72%，37℃发酵72 h，菌体浓度可达 2.2×10^8 cfu/mL。

丁酸梭菌的形态与培养

目前经常采用的丁酸梭菌发酵方法是液体深层发酵法，此法便于控制氧气含量，因为丁酸梭菌属于厌氧菌。

戚薇等（戚，2010）采用单因素和正交试验优化得到最佳培养基组成为胰蛋白胨10g/L，葡萄糖8g/L，酵母膏4g/L，37°C培养24 h，活菌数可达 4.1×10^8 cfu/mL，活菌数芽孢转化率可达95%。

最经济的工业发酵培养基（Wang HK et al, 2011）被确定为每升培养液中含有8g葡萄糖、20g豆粕（中性蛋白酶水解3h）和5g啤酒酵母粉，最适培养条件下培养48h，丁酸梭菌活菌数可达 8×10^8 cfu/mL，使成本降低了90%。

Hakalehto 等(Hakalehto E,2012)发现 CO₂是梭状芽孢杆菌生长的一个必要的信号，在丁酸梭菌的纯培养过程中，外部环境中没有 CO₂将导致其生长的大量延迟或难以启动；丁酸梭菌与短乳杆菌存在着共生关系，短乳杆菌产生的 CO₂能够更好地启动丁酸梭菌的生长。

Gaseous CO₂ signal initiates growth of butyric-acid-producing *Clostridium butyricum* in both pure culture and mixed cultures with *Lactobacillus brevis*.

[Hakalehto E¹](#), [Hänninen O.](#)

[+ Author information](#)

Abstract

Microbial strains produce numerous volatile substances in the anaerobic conditions of the human intestines. The availability of CO₂ is known to be a prerequisite for bacterial growth in general. In experiments with anaerobic *Lactobacillus brevis* and *Clostridium butyricum* bacteria in the Portable Microbial Enrichment Unit (PMEU) it was shown that these strains interact; this interaction being mediated by CO₂ emission. CO₂ promoted clostridial growth in pure cultures and mixed cultures with lactobacilli. The growth of *C. butyricum* in pure cultures was much delayed or did not start at all without CO₂ from outside. Conversely, the onset of growth was provoked by a short (15 min) CO₂ burst. In mixed cultures the presence of lactobacilli in equal numbers speeded up the onset of clostridial growth by 10 h. If *C. butyricum*

02

丁酸梭菌的生理功能

益生作用

丁酸梭菌可产生良好的动物所需的营养素来源或具有辅助消化作用的丁酸、消化酶、氨基酸、B族维生素等营养物质。

丁酸梭菌产生辅助动物消化饲料日粮的胞外酶主要有蛋白酶和淀粉酶等，并分泌大量的胞内酶。

丁酸梭菌代谢中产生的VB、泛酸和烟酸等，为动物代谢和生长发育提供必需的营养物质，像维生素K和B族维生素不但可以提供营养，还可促进维生素E的吸收。研究表明，丁酸梭菌在37°C厌氧条件下培养24 h后，上清液中叶酸浓度可以达到8.0 mmol/L，维生素B12含量为 93Pg/mL(Araki Y, 2002)。

丁酸梭菌的生理功能

丁酸梭菌和拜仁梭菌混合可产生果胶裂解酶和果胶甲酯酶，在肠道产生的果胶最终分解为SCFAs

（Akajima N, 1999）。其中最主要的为丁酸，而丁酸是结肠上皮细胞的能量代谢和正常生长主要的营养物质（Pryde SE, 2002）

益生物质	其益生作用
丁酸	改善肠道微环境，治疗结肠炎、结肠癌相关疾病
乙酸、丙酸及其他短链脂肪酸	改善肠道微环境，刺激肠道蠕动，调节微生态平衡
多种氨基酸	补充营养物质，利于自身增殖
B族维生素和维生素K	补充宿主营养物质，促进V _E 的吸收
淀粉酶、糖苷酶等	为自身的增殖提供必要物质
果胶酶、葡聚糖酶等	降解饲料，提高饲料营养、适口性等
丁酸梭菌	调节微生态平衡；增强免疫功能，促进动物的生长；分解胺类、吲哚类、硫化氢等有害物质

丁酸梭菌的生理功能

维持肠道菌群平衡

作为调整肠道功能的代表性菌之一的丁酸梭菌，具有促进有益菌定植和繁殖及抑制有害菌生长的特点。丁酸梭菌产生的脂肪酸(乙酸、丁酸)有降低肠道内pH，抑制有害菌附着与繁殖的功能。

研究表明，当丁酸梭菌与艰难梭菌在体外共培养时，艰难梭菌的毒性大幅度降低甚至消失，主要是因为丁酸梭菌芽孢萌发与扩增的速率是艰难梭菌的两倍，产生的短链脂肪酸更有效的抑制艰难梭菌芽孢的萌发及其生长（Woo TDH，2011）。

丁酸梭菌的生理功能

其他研究表明，丁酸梭菌可增强双歧杆菌和乳酸杆菌的繁殖，并一定程度抑制鸡白痢沙门氏菌、大肠杆菌、产气荚膜梭菌（曹广添，2012）。

张达荣等（张达荣，1999）采用丁酸梭菌制剂服用于有腹泻、便秘症状的患者，结果表明，丁酸梭菌可促进乳酸菌、双歧杆菌等有益菌的增殖，并抑制肠道内病原菌和腐败菌。

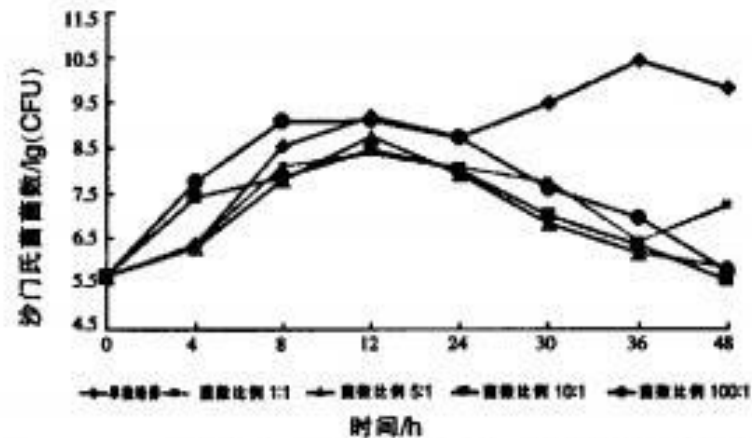


图3 丁酸梭菌对鸡白痢沙门氏菌的拮抗作用

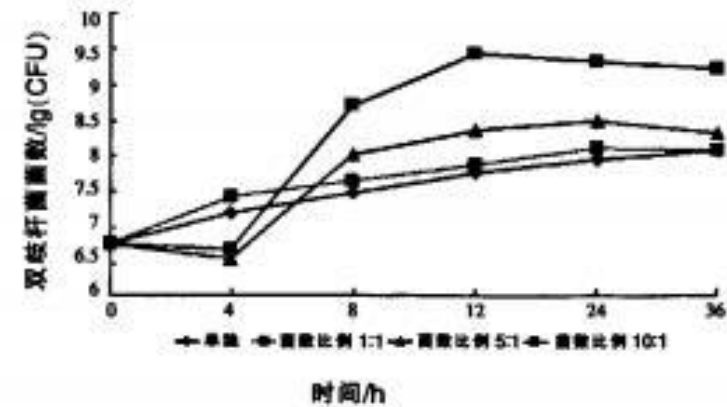


图6 丁酸梭菌对双歧杆菌的增殖作用

免疫功能

丁酸梭菌可激活机体免疫系统，促使机体免疫力增强，进而维持动物健康。

丁酸梭菌的抗炎作用主要是通过激活动物肠道上皮细胞的TLR-2，从而调节NF- κ B信号途径分泌促炎因子(TNF- α 、IL-6)，进而降低机体致病菌的感染。

张彩云等在断奶仔猪的日粮中添加 1‰的丁酸梭菌，显著提高了仔猪的平均日增重，添加3‰的丁酸梭菌能显著提高仔猪饲料的转化效率，添加3‰和5‰的丁酸梭菌，其免疫机能、抗病力均明显提高，其中添加5‰丁酸梭菌组的血清乳酸脱氢酶的活性显著低于抗生素对照组，IgG水平显著高于抗生素对照组。

丁酸梭菌的生理功能

研究表明，丁酸梭菌灭活后，可激活小鼠巨噬细胞和自然杀伤细胞的细胞毒性，且通过诱导产生高滴度的 $IFN-\gamma$ ，进而提高小鼠机体免疫功能（*Chen H Y, 1993*）。

此外，双粪肠球菌可与丁酸梭菌联合使用，增加腹泻儿童的血清抑炎因子 $IL-10$ 水平，降低促炎因子 $TNF-\alpha$ 水平（*Chen C C, 2010*）

Immunologic Effect of Probiotics

We collected whole blood of patients on day 3 after initiation of therapy. There was sufficient blood sample in only 76 of the 304 participants. Probiotics appeared to be associated with down-regulation of proinflammatory cytokine $TNF-\alpha$ levels but up-regulation of $IL-10$, $IL-12p70$, and $IFN-\gamma$ serum concentrations (Fig., Supplemental Digital Content 2, <http://links.lww.com/INF/A186>).

03

丁酸梭菌在生产中的应用

丁酸梭菌的临床应用

丁酸梭菌可以显著治疗腹泻、炎症、便秘等疾病，且有极强的整肠作用。研究表明，酪酸梭菌二联活菌散可显著降低婴儿腹泻的发病率。同时，可有效治愈溃疡性结肠炎。

最先将酪酸梭菌相关制剂投入商业化临床应用的日本，现已形成多种产品。



丁酸梭菌动物中的应用

在幼龄畜禽的日粮中添加丁酸梭菌可有效提高动物机体免疫功能。

表 5 不同剂量酪酸菌对 LPS 攻毒白羽肉鸡空肠黏膜免疫因子 mRNA 相对表达量的影响

项目	IL-1 β	IL-6	TNF- α	IFN- γ	IL-10	TLR4	TLR5
负对照组	1.00 \pm 0.00 ^b	1.00 \pm 0.00 ^c	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00 ^c
正对照组	2.28 \pm 0.78 ^a	3.19 \pm 0.14 ^a	1.40 \pm 0.30	1.71 \pm 0.94	1.37 \pm 0.98	0.97 \pm 0.29	3.75 \pm 0.62 ^a
试验 1 组	0.94 \pm 0.46 ^b	1.62 \pm 0.23 ^b	0.94 \pm 0.12	0.78 \pm 0.32	1.20 \pm 0.36	0.95 \pm 0.17	1.90 \pm 0.79 ^{b, c}
试验 2 组	1.55 \pm 0.70 ^{a, b}	1.44 \pm 0.29 ^b	0.91 \pm 0.46	0.80 \pm 0.55	1.04 \pm 0.80	1.87 \pm 1.15	2.64 \pm 0.06 ^b
P 值	<0.05	<0.05	0.081	0.098	0.529	0.116	<0.05

表 4 谷氨酰胺与丁酸梭菌对断奶仔猪抗氧化能力的影响

Table 4 Effects of glutamine and *Clostridium butyricum* on the antioxidant capacity of weanling piglets

项目 Items	断奶天数 Weanling days	对照组 CT	谷氨酰胺组 GT	丁酸梭菌组 CBT	复合组 GCT
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	0	131.63 \pm 5.92			
	7	120.78 \pm 2.14 ^a	133.94 \pm 1.83 ^b	133.50 \pm 5.95 ^b	135.89 \pm 2.01 ^b
	14	115.72 \pm 1.26 ^a	127.79 \pm 4.01 ^b	119.22 \pm 10.95 ^a	127.89 \pm 2.11 ^b
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	0	6.43 \pm 0.88			
	7	5.02 \pm 0.81 ^a	7.42 \pm 1.05 ^{ab}	18.25 \pm 3.18 ^c	14.07 \pm 2.16 ^c
	14	11.71 \pm 1.78 ^a	19.32 \pm 3.39 ^b	18.83 \pm 1.30 ^b	21.23 \pm 1.40 ^b

丁酸梭菌动物中的应用

中华人民共和国农业部公告

根据《
申请的丁酸
添加剂新产
布之日起持
特此公

附件1:

微生物	地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、两歧双歧杆菌、粪肠球菌、屎肠球菌、乳酸肠球菌、嗜酸乳杆菌、干酪乳杆菌、德式乳杆菌乳酸亚种（原名：乳酸乳杆菌）、植物乳杆菌、乳酸片球菌、戊糖片球菌、产朊假丝酵母、酿酒酵母、沼泽红假单胞菌、婴儿双歧杆菌、长双歧杆菌、短双歧杆菌、青春双歧杆菌、嗜热链球菌、罗伊氏乳杆菌、动物双歧杆菌、黑曲霉、米曲霉、迟缓芽孢杆菌、短小芽孢杆菌、纤维二糖乳杆菌、发酵乳杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种（原名：保加利亚乳杆菌）	养殖动物
	产丙酸丙酸杆菌、布氏乳杆菌	青贮饲料、牛饲料
	副干酪乳杆菌	青贮饲料
	凝结芽孢杆菌	肉鸡、生长育肥猪和水产养殖动物
	侧孢短芽孢杆菌(原名：侧孢芽孢杆菌)	肉鸡、肉鸭、猪、虾

州惠嘉丰牧科技有限公司
和使用，核发饲料和饲料
备案）、说明书和标签自发

一、丁酸梭菌

微生物	凝结芽孢杆菌	<i>Bacillus coagulans</i>	适用范围扩大至犬、猫
-----	--------	---------------------------	------------

04

丁酸梭菌在水产动物中的应用

丁酸梭菌在水产动物中的应用

微生物在水产养殖中占有非常重要的地位。它直接影响水体的生产能力、物质循环、动物营养、水质、疾病控制和水的排放（Moriarty, 1998）。现代微生物学研究表明,水产益生菌具有增进营养、提高消化、增强免疫、改善水质等作用（Gatesoupe, 1999; Laurent, 2000）。

丁酸梭菌具有耐高温、耐胆酸盐等特点,既可以产生多种酶和营养物质,又可以抑制有害菌、增殖有益菌。作为新型的饲料添加剂具有非常广阔的前景,但丁酸梭菌在水产业上的研究较少,亟需开展相关的基础研究。

丁酸梭菌 C₂ 菌株对鲢鱼肠道微生物生态调控作用与机理研究

7、体液免疫的试验数据表明，添加丁酸梭菌 C₂ 菌株可以提高鲢鱼血清和体表粘液溶菌酶活性，在添加 10^9CFU g^{-1} 时，显著高于对照组 ($P < 0.05$)；同时可以提高酸性磷酸酶和酚氧化酶的活性 ($P < 0.05$)；增加血浆中的 IgM 浓度 ($P < 0.05$)。

8、丁酸梭菌 C₂ 菌株在鲢鱼肠道可以存活。当以 10^8CFU g^{-1} 剂量饲喂鲢鱼时，活菌计数显示该菌株在前、中、后肠分别为 6.43 ± 0.32 、 6.36 ± 0.22 、 $7.28 \pm 0.28 \log \text{CFU g}^{-1}$ 。

9、假单胞菌是鲢鱼肠道的优势菌群。丁酸梭菌 C₂ 的添加可以影响其肠道的菌群结构。促进双歧杆菌生长，抑制大肠杆菌、肠产气杆菌和短杆菌，有可能促进发光杆菌的增长。同时对厌氧菌总数影响不显著 ($P > 0.05$)，显著降低了好氧菌

丁酸梭菌在水产动物中的应用



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Fish & Shellfish Immunology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fsi



Full length article

Effect of dietary *Clostridium butyricum* on growth, intestine health status and resistance to ammonia stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*

Yafei Duan, Yue Zhang, Hongbiao Dong, Yun Wang, Xiaoting Zheng, Jiasong Zhang*

Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, PR China

Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, PR China

Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute,

Yafei Duan, Yue Zhang, Hongbiao Dong, Yun Wang, Xiaoting Zheng, Jiasong Zhang

Corresponding author



丁酸梭菌在水产动物中的应用

材料：丁酸梭菌（ 10^9 cfu/g）

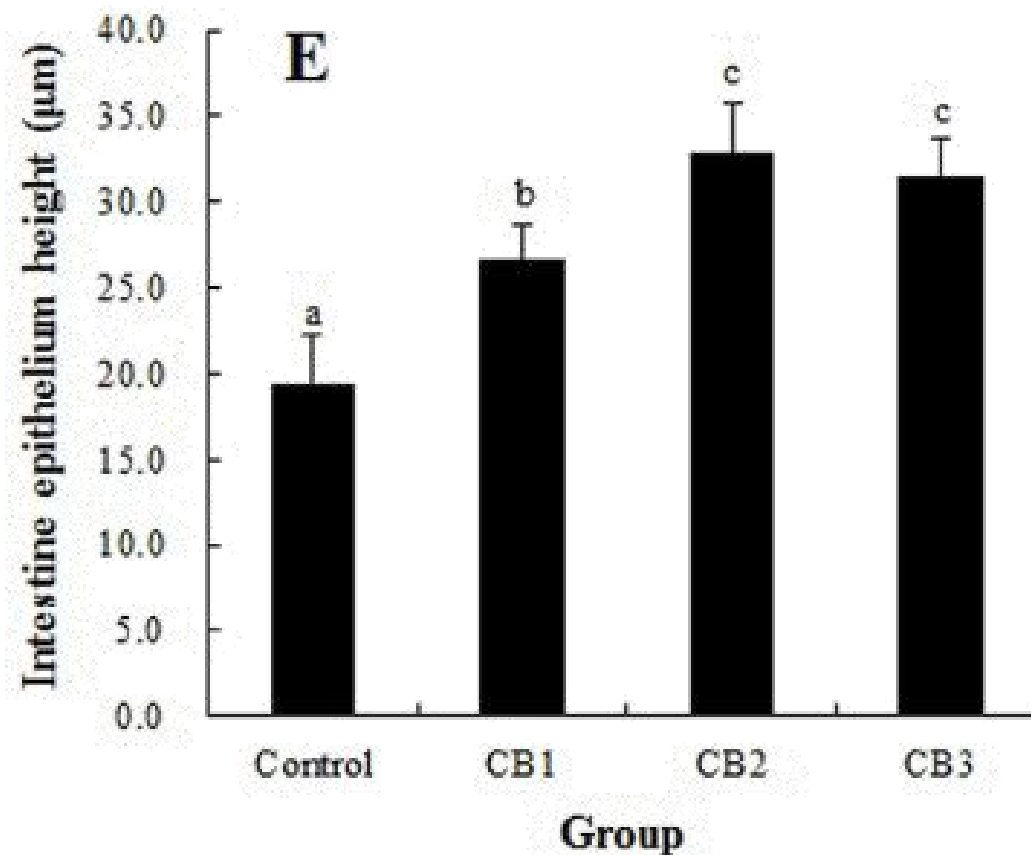
组别：对照组；0.25%添加量组（CB1）；0.5%添加量组（CB2）；1.0%添加量组（CB3）

每天进行检查MRS平板计数法来验证益生菌的浓度，并检查可能的污染。丁酸梭菌溶于无菌净化水中，均匀喷撒在饲料表面，室温下风干，并在一天内用完。

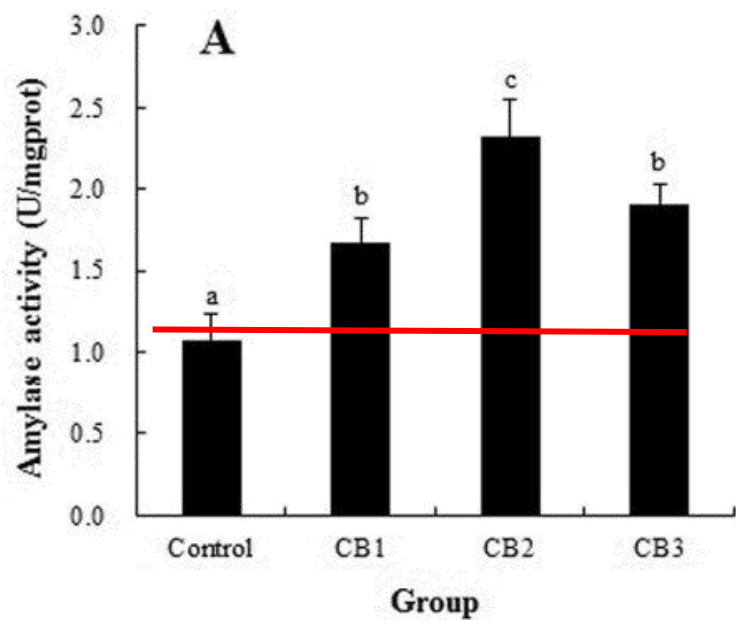


丁酸梭菌在水产动物中的应用

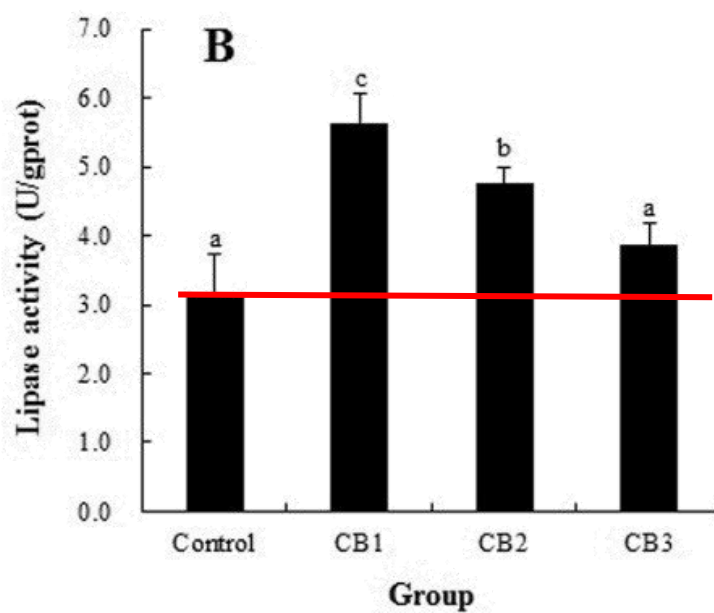
进行肠道绒毛高度统计分析得出：3个实验组肠道上皮细胞高度均增加，且CB2和CB3组高于CB1组，CB2和CB3组在统计学上没有显著差异。



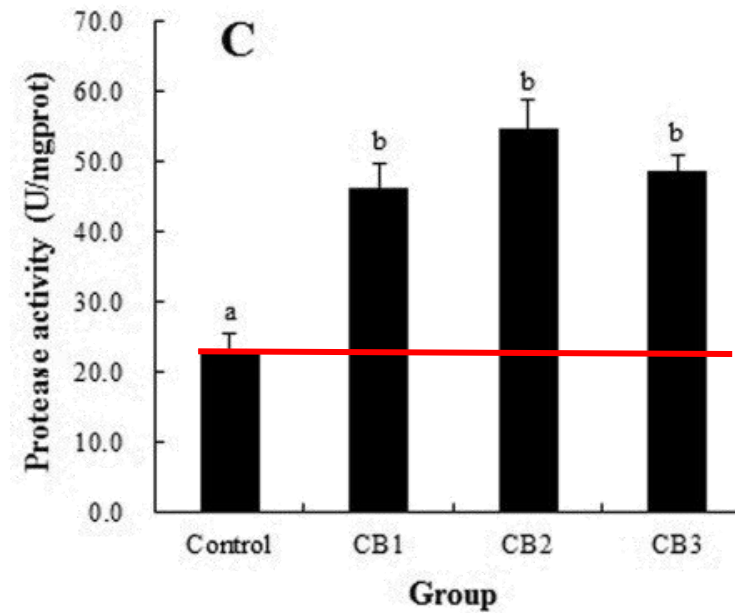
丁酸梭菌在水产动物中的应用



淀粉酶

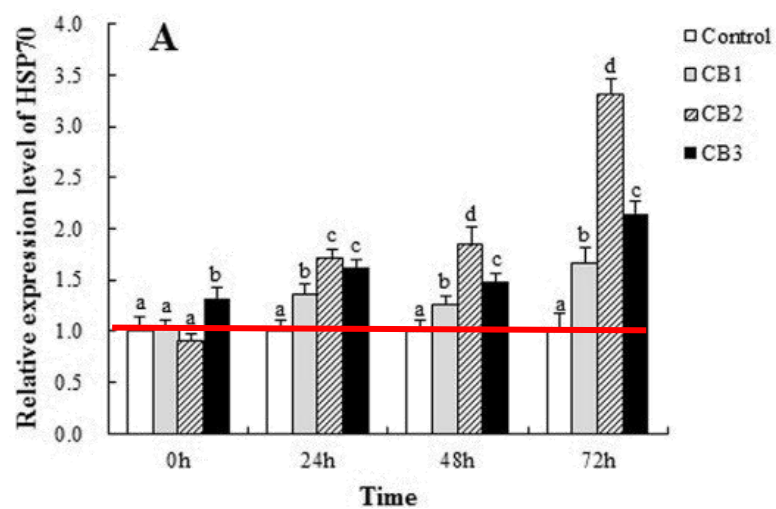


脂肪酶

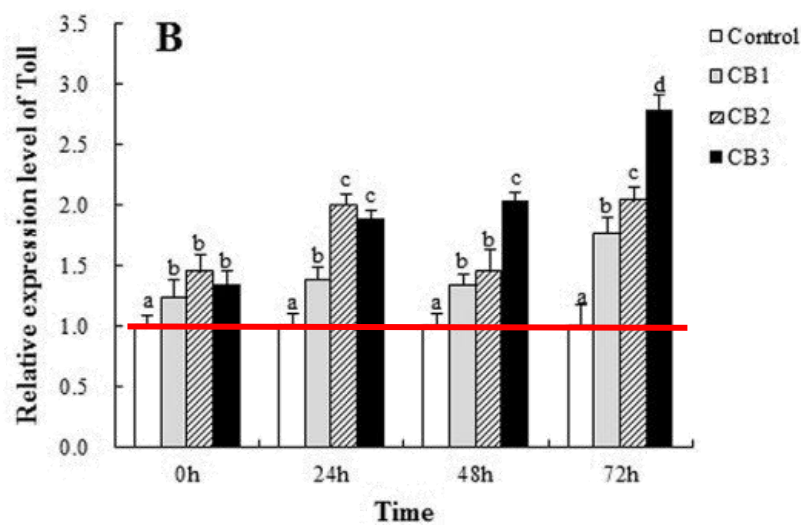


蛋白酶

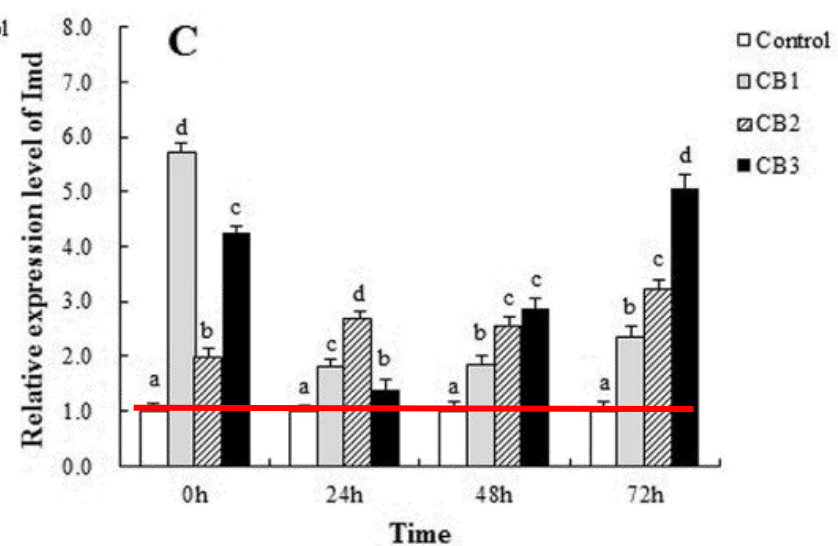
丁酸梭菌在水产动物中的应用



HSP 70



Toll



Imd



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Fish & Shellfish Immunology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fsi



Full length article

Sodium butyrate improved intestinal immune function associated with NF- κ B and p38MAPK signalling pathways in young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)

Li Tian^{a,1}, Xiao-Qiu Zhou^{a,b,c,1}, Wei-Dan Jiang^{a,b,c}, Yang Liu^{a,b,c}, Pei Wu^{a,b,c}, Jun Jiang^{a,b,c}, Sheng-Yao Kuang^d, Ling Tang^d, Wu-Neng Tang^d, Yong-An Zhang^e, Fei Xie^f, Lin Feng^{a,b,c,*}



丁酸梭菌在水产动物中的应用

实验对象：草鱼（ $256.57 \pm 0.71\text{g}$ ）

实验分组：6个实验组，每组3个重复，每个重复30尾鱼。

投喂时间：每天四次饱食投喂，喂食30分钟后，收集饲料残渣，干燥并称重以计算采食量。

养殖时间：养殖60天。

光照周期：自然光周期。

在试验结束，称重，麻醉，取肠道（胰蛋白酶，糜蛋白酶，脂肪酶，淀粉酶活性以及绒毛长度）与肠道内容物（菌群计数和SCFAs检测），液氮速冻，冻存于 -80°C 。



丁酸梭菌在水产动物中的应用

Table 3

Growth performance, intestinal growth, digestive enzymes activities, intestinal bacterial counts, intestinal SCFAs concentrations, and folds height in the proximal intestine (PI), middle intestine (MI) and distal intestine (DI) of young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed diets containing 1000.0 mg kg⁻¹ powdery sodium butyrate (PSB) and graded levels of microencapsulated sodium butyrate (MSB) (mg kg⁻¹ diet) for 60 days.

	PSB (SB)	MSB (SB)					
	1000.0 (590.3)	0.0 (control)	500.0 (160.8)	1000.0 (326.8)	1500.0 (424.2)	2000.0 (593.8)	
生长性能	IBW ^A	256.78 ± 0.69 ^a	256.22 ± 0.77 ^a	256.78 ± 0.96 ^a	256.44 ± 0.38 ^a	256.11 ± 0.96 ^a	257.11 ± 0.38 ^a
	FBW ^A	688.00 ± 9.17 ^d	617.11 ± 5.05 ^a	781.56 ± 6.71 ^f	719.08 ± 5.24 ^e	661.48 ± 8.84 ^c	633.17 ± 8.19 ^b
	PWG ^A	167.94 ± 2.88 ^d	140.85 ± 1.26 ^a	204.37 ± 3.70 ^f	180.40 ± 1.67 ^e	158.28 ± 2.66 ^c	146.26 ± 3.10 ^b
	SGR ^A	1.64 ± 0.02 ^d	1.46 ± 0.01 ^a	1.86 ± 0.02 ^f	1.72 ± 0.01 ^e	1.58 ± 0.02 ^c	1.50 ± 0.02 ^b
	FI ^A	760.46 ± 0.26 ^d	693.87 ± 0.82 ^a	837.48 ± 4.27 ^f	795.53 ± 2.91 ^e	746.06 ± 0.81 ^c	714.20 ± 1.13 ^b
	FE ^A	56.71 ± 1.10 ^c	52.01 ± 0.56 ^a	62.66 ± 0.64 ^d	58.16 ± 0.68 ^c	54.34 ± 1.09 ^b	52.65 ± 1.15 ^a
	IL ^B	61.34 ± 4.18 ^{bc}	56.22 ± 2.86 ^a	65.22 ± 3.67 ^d	64.10 ± 4.75 ^{cd}	62.33 ± 1.20 ^{bc}	59.95 ± 0.67 ^b
	IW ^B	16.00 ± 0.62 ^c	11.98 ± 0.98 ^a	19.30 ± 0.99 ^e	17.53 ± 1.11 ^d	14.77 ± 0.78 ^b	12.73 ± 1.11 ^a
	ISI ^B	2.36 ± 0.24 ^{bc}	2.04 ± 0.16 ^a	2.54 ± 0.20 ^d	2.45 ± 0.18 ^{cd}	2.28 ± 0.16 ^b	2.06 ± 0.19 ^a
	菌群	Trypsin ^C	1.43 ± 0.06 ^{cd}	1.11 ± 0.05 ^a	1.36 ± 0.04 ^c	1.51 ± 0.08 ^d	1.25 ± 0.05 ^b
Chymotrypsin ^C		1.38 ± 0.09 ^c	1.07 ± 0.04 ^a	1.41 ± 0.12 ^c	1.35 ± 0.08 ^{bc}	1.26 ± 0.05 ^b	1.09 ± 0.06 ^a
Lipase ^C		1278.82 ± 155.65 ^b	805.19 ± 116.02 ^a	1610.37 ± 232.03 ^c	1752.46 ± 213.93 ^c	1231.46 ± 146.75 ^b	757.82 ± 146.75 ^a
Amylase ^C		947.61 ± 65.19 ^c	761.19 ± 41.29 ^a	915.28 ± 65.27 ^{bc}	1042.34 ± 31.79 ^d	866.46 ± 47.25 ^b	728.64 ± 40.24 ^a
SCFAs	<i>Aeromonas</i> ^C	6.75 ± 0.10 ^b	7.31 ± 0.10 ^c	6.21 ± 0.36 ^a	6.52 ± 0.00 ^{ab}	6.62 ± 0.13 ^{ab}	6.64 ± 0.36 ^b
	<i>E. coli</i> ^C	7.34 ± 0.14 ^{ab}	7.97 ± 0.02 ^c	7.32 ± 0.17 ^{ab}	7.13 ± 0.29 ^a	7.45 ± 0.30 ^{ab}	7.70 ± 0.23 ^{bc}
	<i>Lactobacillus</i> ^C	7.71 ± 0.07 ^{bc}	6.83 ± 0.14 ^a	7.71 ± 0.24 ^{bc}	7.95 ± 0.23 ^c	7.41 ± 0.33 ^b	7.37 ± 0.19 ^b
绒毛高度	Acetate ^C	2.26 ± 0.15 ^a	5.41 ± 0.36 ^d	3.07 ± 0.20 ^b	4.47 ± 0.36 ^c	4.81 ± 0.43 ^c	7.88 ± 0.35 ^e
	Propionate ^C	0.39 ± 0.01 ^a	0.95 ± 0.08 ^c	0.41 ± 0.04 ^a	0.37 ± 0.04 ^a	0.67 ± 0.03 ^b	0.68 ± 0.07 ^b
	Butyrate ^C	0.94 ± 0.06 ^b	0.48 ± 0.04 ^a	0.99 ± 0.03 ^{bc}	1.06 ± 0.06 ^c	1.34 ± 0.03 ^d	1.47 ± 0.03 ^e
绒毛高度	Folds height ^D						
	PI	1052.60 ± 178.93 ^a	996.77 ± 150.91 ^a	1164.39 ± 93.00 ^{bc}	1212.93 ± 127.18 ^c	1191.28 ± 165.71 ^{bc}	1096.09 ± 136.23 ^{ab}
	MI	1169.48 ± 149.10 ^c	808.99 ± 134.78 ^a	1050.48 ± 101.94 ^b	1061.28 ± 119.19 ^b	1046.34 ± 116.08 ^b	1037.08 ± 85.92 ^b
DI	680.62 ± 67.90 ^b	534.00 ± 77.55 ^a	821.04 ± 85.79 ^d	746.00 ± 58.00 ^c	723.76 ± 57.68 ^{bc}	693.66 ± 48.93 ^b	

酶活性

绒毛高度

丁酸梭菌在水产动物中的应用

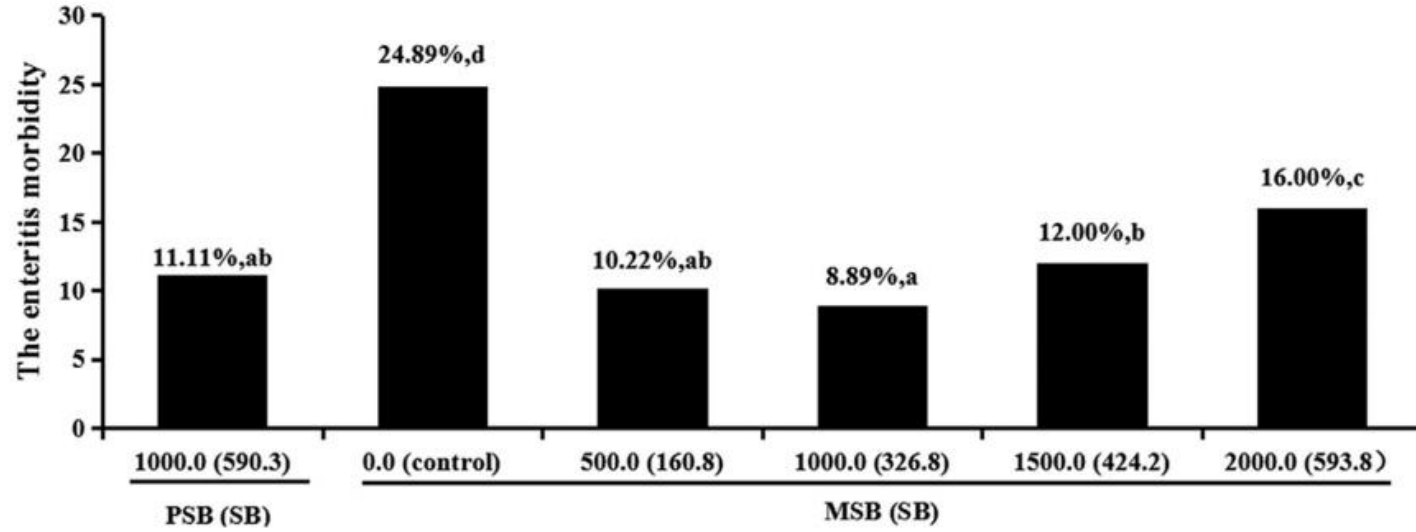


Fig. 1. Effects of dietary SB supplementation (mg kg^{-1} diet) on enteritis morbidity of young grass carp after infection of *Aeromonas hydrophila*. Values having different letters are significantly different ($P < 0.05$).

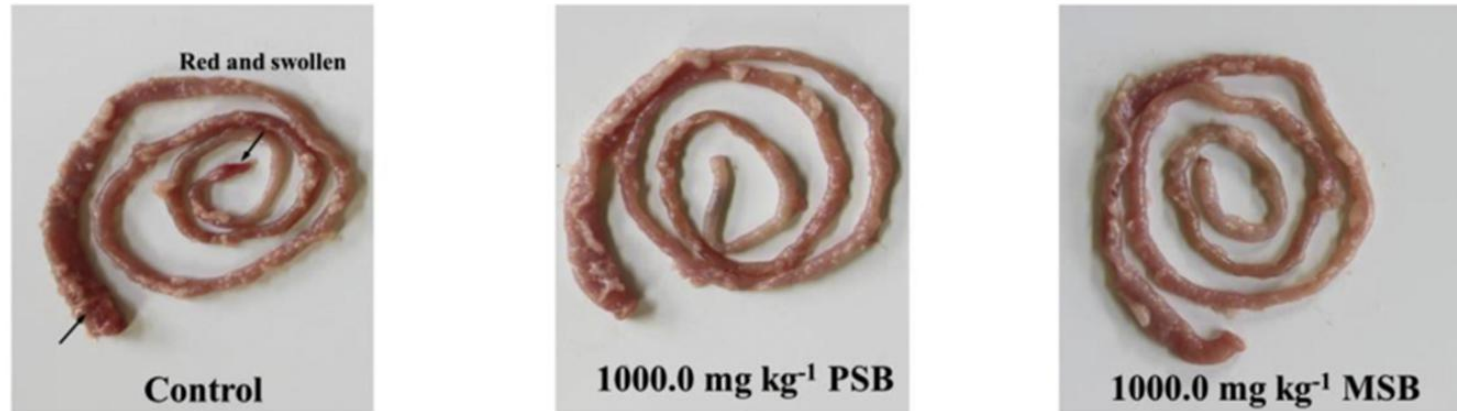


Fig. 2. Compared with control diet, PSB and optimal MSB supplementation alleviated enteritis symptom after challenged with *A. hydrophila* in young grass carp.

丁酸梭菌在水产动物中的应用

Table 4

LZ and ACP activities (U mg⁻¹ protein), C3, C4 and IgM contents (mg g⁻¹ protein) in the PI, MI and DI of young grass carp fed diets containing 1000.0 mg kg⁻¹ PSB and graded levels of MSB (mg kg⁻¹ diet).^A

	PSB (SB)	MSB (SB)				
	1000.0 (590.3)	0.0 (control)	500.0 (160.8)	1000.0 (326.8)	1500.0 (424.2)	2000.0 (593.8)
PI						
LZ	124.47 ± 10.05 ^{cd}	91.42 ± 6.89 ^a	124.86 ± 7.55 ^{cd}	131.69 ± 11.21 ^d	116.13 ± 13.29 ^{bc}	105.33 ± 16.73 ^b
ACP	313.78 ± 21.85 ^c	218.10 ± 16.50 ^a	317.81 ± 29.11 ^c	319.04 ± 30.77 ^c	309.66 ± 28.96 ^c	256.25 ± 24.13 ^b
C3	23.20 ± 0.84 ^d	18.36 ± 1.43 ^a	22.66 ± 2.17 ^{cd}	24.04 ± 1.23 ^d	21.13 ± 1.91 ^{bc}	19.36 ± 0.95 ^{ab}
C4	11.07 ± 0.78 ^d	5.98 ± 0.51 ^a	9.53 ± 0.62 ^c	11.51 ± 1.08 ^d	8.67 ± 0.47 ^b	6.66 ± 0.58 ^a
IgM	53.48 ± 5.73 ^{bc}	45.78 ± 3.79 ^a	49.18 ± 3.32 ^{ab}	54.14 ± 3.40 ^{bc}	55.06 ± 5.96 ^c	55.11 ± 3.44 ^c
MI						
LZ	127.36 ± 8.33 ^{cd}	95.50 ± 15.77 ^a	129.11 ± 6.65 ^{cd}	136.87 ± 9.61 ^d	119.67 ± 7.86 ^{bc}	112.07 ± 6.14 ^b
ACP	350.98 ± 25.96 ^c	237.71 ± 20.84 ^a	389.67 ± 21.26 ^d	407.66 ± 30.46 ^d	337.02 ± 15.28 ^c	288.41 ± 30.36 ^b
C3	26.11 ± 1.68 ^b	21.82 ± 1.07 ^a	25.93 ± 1.79 ^b	28.51 ± 2.30 ^c	25.27 ± 1.78 ^b	22.43 ± 0.95 ^a
C4	12.49 ± 1.28 ^c	8.77 ± 0.79 ^a	11.66 ± 0.82 ^{bc}	14.95 ± 1.35 ^d	12.33 ± 1.22 ^c	10.41 ± 0.88 ^b
IgM	65.23 ± 6.47 ^c	55.46 ± 6.71 ^a	58.10 ± 3.24 ^{ab}	66.18 ± 6.07 ^c	64.23 ± 4.86 ^{bc}	56.93 ± 5.48 ^a
DI						
LZ	166.31 ± 10.78 ^d	95.87 ± 11.83 ^a	161.37 ± 8.27 ^d	170.53 ± 5.99 ^d	148.83 ± 9.03 ^c	120.57 ± 13.04 ^b
ACP	341.53 ± 20.71 ^{cd}	246.46 ± 29.05 ^a	366.31 ± 16.07 ^d	412.23 ± 24.50 ^e	334.46 ± 27.93 ^c	300.68 ± 20.39 ^b
C3	35.32 ± 1.31 ^{bc}	27.08 ± 1.36 ^a	36.99 ± 2.52 ^c	40.59 ± 2.71 ^d	33.17 ± 2.29 ^b	29.07 ± 1.05 ^a
C4	19.09 ± 1.30 ^d	11.81 ± 1.68 ^a	17.14 ± 1.70 ^c	21.08 ± 1.22 ^e	15.88 ± 0.92 ^c	13.55 ± 0.97 ^b
IgM	70.91 ± 6.77 ^{cd}	62.05 ± 7.82 ^{ab}	64.74 ± 6.42 ^{abc}	73.04 ± 4.79 ^d	67.80 ± 5.11 ^{bcd}	59.63 ± 6.30 ^a

^A Values are means ± SD (n = 6), and different superscript in the same row are significantly different (P < 0.05). LZ, lysozyme; ACP, acid phosphatase; C3, complement 3; IgM, immunoglobulin M.

丁酸梭菌在水产动物中的应用

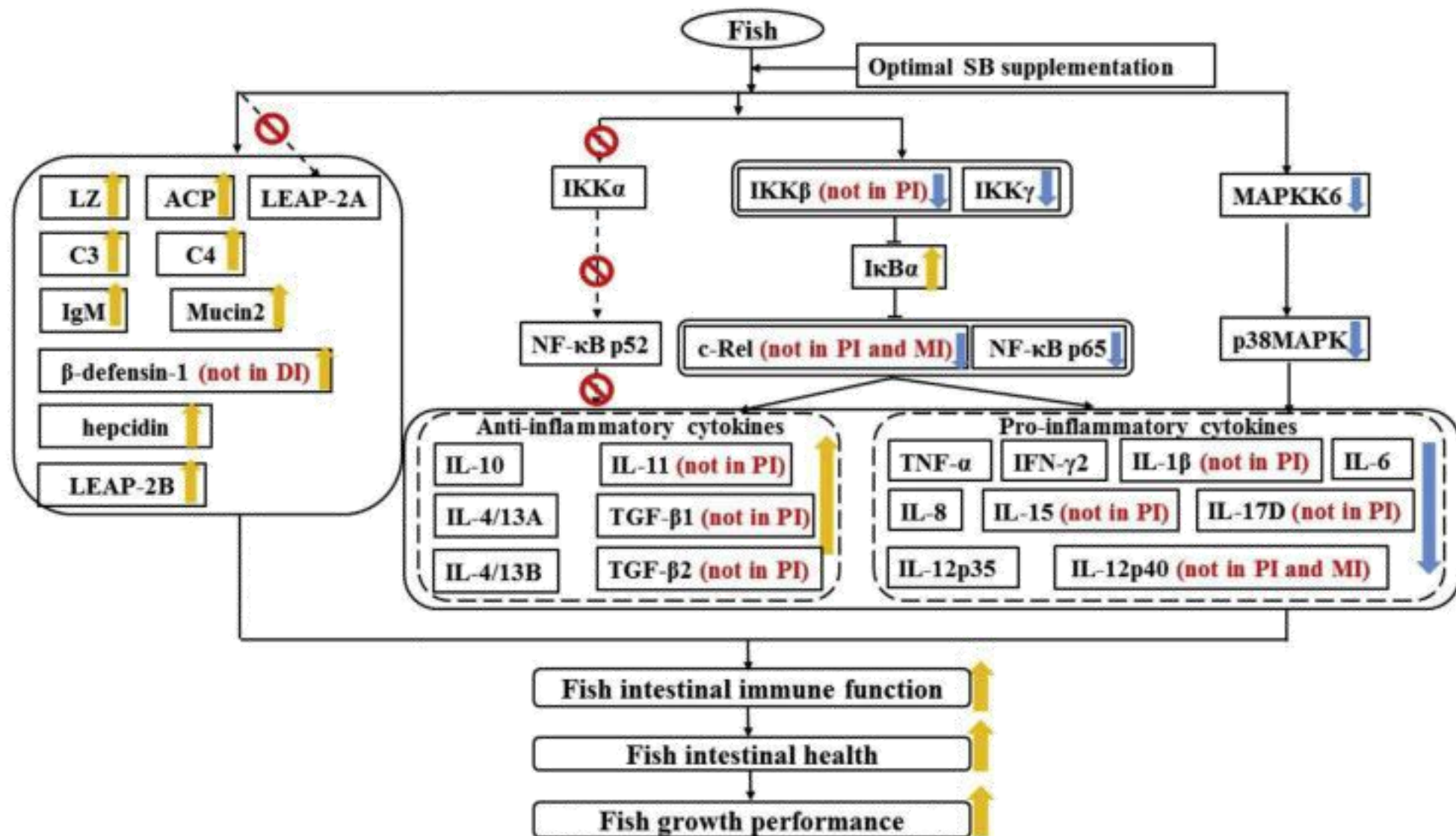


Fig. 7. General summary for the effect of SB on immune function and its potential signalling pathways in the intestine of fish.

-⊗→, not through; —|, inhibit; —→, might through.



请各位老师同学批评指正