

# 中草药在抗水产动物致病菌中的应用

郭焕裕<sup>1</sup>, 王亮<sup>2</sup>, 葛海霞<sup>1\*</sup>

(1. 湖州师范学院生命科学学院, 浙江湖州 313000; 2. 杭州市萧山区第一人民医院医共体总院城西院区, 浙江杭州 311200)

**摘要** 随着水产养殖业的迅猛发展, 水产动物感染性疾病频发, 给养殖业造成巨大的经济损失。传统的防治方法以抗生素和化学合成抗菌药为主, 然而长期不合理应用抗生素类药物易产生耐药性、药物残留和环境污染等问题。中草药具有资源丰富、安全性高、残留低、不易产生耐药性等优点, 在水产养殖业抗菌、抗病毒、抗寄生虫等方面得到了越来越广泛的应用。综述了中草药在抗水产动物常见致病菌中的应用, 以期为进一步开发和拓展中草药在水产养殖业中的应用提供思路。

**关键词** 中草药; 水产动物; 致病菌; 抑菌作用

**中图分类号** S948 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)02-0019-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Application of Chinese Herbal Medicine in Pathogenic Bacteria of Aquatic Animals

GUO Huan-yu<sup>1</sup>, WANG Liang<sup>2</sup>, GE Hai-xia<sup>1</sup> (1. College of Life Sciences, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000; 2. Chengxi Hospital, The First People's Hospital of Xiaoshan District, Hangzhou, Zhejiang 311200)

**Abstract** With the rapid development of aquaculture, infectious diseases of aquatic animals occur frequently, causing huge economic losses to the aquaculture industry. The traditional prevention and treatment methods are mainly antibiotics and chemical synthetic antibacterial agents, however, the long-term unreasonable use of antibiotics is easy to produce problems such as drug resistance, drug residues and environmental pollution. With the advantages of rich resources, high safety, low residue and not easy to produce drug resistance, Chinese herbal medicine has been more and more widely used in aquaculture, such as antibacterial, anti-virus, anti-parasite and so on. This paper summarizes the application of Chinese herbal medicine in resisting common pathogenic bacteria of aquatic animals, and provides ideas for further developing and expanding the application of Chinese herbal medicine in aquaculture.

**Key words** Chinese herbal medicine; Aquatic animals; Pathogenic bacteria; Antibacterial effect

随着生活水平的提高, 人们对水产品的需求逐年增加, 水产养殖业得到了迅猛发展。为提高养殖效益, 养殖密度也显著增长, 随之而来的就是大量的水产病害问题, 如细菌性疾病、真菌性疾病、病毒性疾病和寄生虫疾病, 其中细菌性疾病是制约水产养殖业持续健康发展的主要疾病之一。常见的致病菌有嗜水气单胞菌、弧菌、链球菌、迟缓爱德华氏菌等, 感染了病原菌的水产动物通常表现出食欲不振且浮游于水表, 内脏膨胀且表皮出现褪色和斑块, 严重的出现表皮溃烂或鳞片脱落现象。水产动物一旦感染了细菌性疾病, 其发病率和死亡率极高<sup>[1]</sup>, 从而严重影响水产养殖的健康可持续发展, 并导致养殖户遭受巨大的经济损失。

目前防治水产养殖中的细菌感染性疾病的常用药物是抗生素及其他化学合成的抗菌药物, 常用的类型有β-内酰胺类、大环内酯类、氨基糖苷类、四环素类、磺胺类、喹诺酮类等<sup>[2]</sup>; 但抗生素类药物的长期不合理使用以及滥用, 会导致水产动物致病菌出现耐药性、水产品中药物残留以及环境污染等一系列问题<sup>[1,3]</sup>。根据《中华人民共和国农业农村部公告第194号》的规定, 我国自2020年1月1日起, 退出除中药外的所有促生长类药物饲料添加剂品种, 兽药生产企业停止生产、进口兽药代理商停止进口相应兽药产品, 同时注销相应的兽药产品批准文号和进口兽药注册证书, 这被认为是我国农业农村部要全面“禁抗”的公告<sup>[4]</sup>。目前已有多个国家

限制了抗生素的使用<sup>[5]</sup>。另外, 由于暂无有效的药物替代禁渔药, 致使养殖业使用违禁药物现象屡禁不止。

中草药资源丰富, 使用历史悠久, 许多中草药含有有机酸、黄酮类、萜类、皂苷类、生物碱类等天然活性成分, 具有抑菌杀菌、增强机体免疫力和抗应激能力的作用, 同时还能从多靶点、多途径作用于病原体进行协同抑制和杀灭作用, 具有安全性高、残留低、不易产生耐药性等特点<sup>[6-7]</sup>。因此, 中草药在水产养殖中对抗感染性疾病具有很大的优势和应用前景。目前, 引起水产动物感染的微生物主要是嗜水气单胞菌、弧菌、链球菌、迟缓爱德华氏菌等, 该研究就中草药在抗该类水产动物致病菌中的应用进行了综述, 以期为进一步深入开发和拓展中草药在水产养殖业中的应用提供借鉴。

### 1 嗜水气单胞菌

嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*)属类弧菌科, 革兰染色阴性, 广泛分布于自然界的各种水体, 对鱼、蛙等冷血动物和小鼠、豚鼠、家兔等温血动物均有致病性。嗜水气单胞菌是继发性或条件性致病菌, 是能引起人类-畜类-鱼类共患的病原菌<sup>[8]</sup>; 也是我国水产养殖业中影响区域最广、流行季节最长、发病率和死亡率高、造成经济损失最严重的致病菌。

目前, 中草药提取物及其有效成分在抑制嗜水气单胞菌方面已有广泛的研究。谢丽玲等<sup>[9]</sup>报道大黄醇提取物对嗜水气单胞菌的最小抑菌浓度(MIC)为1.0 mg/mL, 最小杀菌浓度(MBC)为4.0 mg/mL, 其抑菌机制是通过影响菌体内30S核糖体蛋白(S1)、F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> ATP合酶β亚基(ATPase-β)、异柠檬酸裂解酶(isocitrate lyase)和烯醇酶(NSE)4种蛋白质的mRNA, 从而影响蛋白的表达, 最终达到抑菌的效果。周亮等<sup>[10]</sup>

**基金项目** 湖州市重点研发项目(2019ZD2027); 浙江省基础公益研究计划项目(LGN22C190007)。

**作者简介** 郭焕裕(1998—), 男, 浙江诸暨人, 硕士研究生, 研究方向: 天然渔药研发。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事天然渔药研究。

**收稿日期** 2021-04-14; **修回日期** 2021-06-09

的研究也得到了类似的结果。此外,黄芩对嗜水气单胞菌也有较好的抑制作用,其醇提物的 MIC 为 20.0~25.0 mg/mL,而其水提物的 MIC 为 10.0~12.5 mg/mL<sup>[11-12]</sup>;由此可见,黄芩水提物比醇提物对嗜水气单胞菌的抑制活性更好,其活性成分在水提取物中含量可能更高。石洪玥等<sup>[13]</sup>研究了五倍子、石榴皮、诃子、黄芩和乌梅 5 味中草药的水提取物对嗜水气单胞菌的抑菌效果,抑菌效果最好的是石榴皮和黄芩, MIC 为 6.25 mg/mL;其次是五倍子和诃子, MIC 为 12.5 mg/mL;最后是乌梅, MIC 为 25.0 mg/mL。夏与晴等<sup>[14]</sup>对 25 种中草药水提取物中抑制嗜水气单胞菌效果较强的几味中草药进行配伍正交试验,发现乌梅和石榴皮的组合对嗜水气单胞菌的抑菌效果最好, MIC 为 7.81 mg/mL;而乌梅单用时对嗜水气单胞菌的 MIC 为 15.63 mg/mL,石榴皮单用时的 MIC 为 31.25 mg/mL;说明不同中草药的配伍对抑菌活性可起到协同增效作用。

朱璐丹等<sup>[15]</sup>报道,中药秦皮中的有效成分秦皮素对嗜水气单胞菌的 MIC 为 0.128 mg/mL。陈杰豪等<sup>[16]</sup>通过试验得出,中药姜黄中的有效成分姜黄素对 5 株鱼源耐药性嗜水气单胞菌的 MIC 和 MBC 范围分别为 0.128~0.256 和 0.512~1.024 mg/mL。由此可见,中草药中的单体成分具有很好的抑菌作用,同时也可推测中草药中含该类成分类型的部位也具有较强的抑菌作用。

中草药及其提取物还可以作为饲料添加剂,通过调节免疫功能对嗜水气单胞菌起到抑制的作用。Zhao 等<sup>[17]</sup>发现将忍冬藤的醇提取物添加到饲料中饲喂感染嗜水气单胞菌的中华绒螯蟹可以提高其存活率;另外,在饲料中添加番石榴叶提取物可以有效地降低由嗜水气单胞菌导致的罗非鱼的死亡率<sup>[18]</sup>。

## 2 溶藻弧菌

溶藻弧菌(*Vibrio alginolyticus*)是一种嗜盐嗜温型的革兰氏阴性细菌,可产生黏附因子、脂多糖、Ⅲ型分泌系统、外膜蛋白等毒力因子<sup>[19]</sup>,是引起弧菌病暴发的主要病原,也是一种人、水生动物共感染菌。该菌感染宿主广泛、流行面积广、发病率及死亡率高,是水产养殖中重点防控的病原菌之一<sup>[20]</sup>。

刘克奉<sup>[21]</sup>研究发现,6 种中草药的水提取物对溶藻弧菌的体外抑菌效果为:蒲公英、连翘、石榴皮>黄芩>鱼腥草、黄柏,其 24 h 的 MIC 分别为 15.625、31.250 和 62.500 mg/mL。冯锐基等<sup>[22]</sup>报道五倍子水提取物对溶藻弧菌的 MIC 和 MBC 均为 6.25 mg/mL;石榴皮水提取物对溶藻弧菌的 MIC 和 MBC 分别为 12.50、25.00 mg/mL。黄连水提取物对溶藻弧菌的 MIC 和 MBC 分别为 7.80 和 31.25 mg/mL<sup>[23]</sup>,而黄连中的有效成分黄连素对溶藻弧菌的 MIC 和 MBC 分别为 0.064 和 0.256 mg/mL<sup>[24]</sup>,说明黄连中抑菌活性较强的可能主要是小檗碱类成分。Ng'ambi 等<sup>[25]</sup>从皂树(*Quillaja saponaria*)中分离得到的一种皂苷成分 *Quillaja saponin* 会刺激三疣梭子蟹的免疫反应,包括吞噬活性、血细胞总数、超氧化物歧化酶和酚氧化酶,并增强三疣梭子蟹对溶藻弧菌的免疫防御作用。

朱宇嘉等<sup>[26]</sup>研究发现,一种中草药复方 HCV (herbal composition for vibriosis) 粉末和浸膏对对虾体内外弧菌有较强的抑杀活性,对溶藻弧菌的 MIC 均为 0.49 mg/mL,明显大于单味药的活性,说明中药复方中的各个药物之间起到协同增效的作用。

## 3 副溶血弧菌

副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*, VP)是革兰氏阴性多形态杆菌或稍弯曲弧菌,是引起对虾急性肝胰腺坏死病(acute hepatopancreatic necrosis disease, AHPND)的主要致病菌<sup>[27-28]</sup>。

谢丽玲等<sup>[29]</sup>发现,黄连的有效成分黄连素对副溶血弧菌的抑菌效果较强,其 MIC 和 MBC 均为 0.391 mg/mL;另一项研究表明,在 25 种中草药中,黄连水提取物对副溶血弧菌的抑制效果最好, MIC 为 15.63 mg/mL<sup>[14]</sup>;说明黄连中抑制副溶血弧菌的有效成分可能主要是小檗碱类成分,与上述抑制溶藻弧菌的结果一致。研究表明,秦皮、诃子、石榴皮、黄连、五倍子和黄芩的水提取物对副溶血弧菌的抑杀效果较好,其 MIC 和 MBC 分别为 1.56 和 3.13 mg/mL<sup>[30]</sup>。戴碧鑫等<sup>[31]</sup>研究了黄芩原药材、复方提取黄芩药渣、单方提取黄芩药渣的醇提取物中黄芩苷的含量以及抑菌活性,发现这 3 种醇提取物中黄芩苷的含量分别为 4.91%、2.05%、2.25%,对副溶血弧菌的 MIC 分别为 0.98、31.25 和 31.25 mg/mL,说明黄芩药渣仍有很好的利用价值。张政等<sup>[32]</sup>发现,生姜的醇提取物对副溶血弧菌具有较好的抑制作用,其 MIC 和 MBC 值均为 40 mg/mL。此外,Zhang 等<sup>[33]</sup>测定了地榆醇提取物和水提取物对副溶血弧菌的有效杀菌浓度,发现 2 种提取物对副溶血弧菌变异株(VP<sub>AHPND</sub>)的生长均有抑制作用,其 MIC 均为 6.4 mg/mL,其中乙醇提取物的抑菌效果更强,在浓度为 6.4 mg/mL 时,10 h 内即可杀死 VP<sub>AHPND</sub>。由此可见,多种单味中草药对副溶血弧菌具有较好的抑菌效果,秦皮、诃子、石榴皮、五倍子和黄芩的 MBC 均低于 3.13 mg/mL。

Zhai 等<sup>[34]</sup>认为,传统中药复方三黄散可提高凡纳滨对虾的天然免疫能力,增强其对一种由副溶血弧菌引起的急性肝胰腺坏死病菌株的抵抗力。同样,乌梅和石榴皮的组合以及中草药复方 HCV 对副溶血弧菌也具有很强的抑菌作用,其 MIC 分别是 7.81 和 0.25 mg/mL<sup>[14,26]</sup>。

## 4 链球菌

链球菌是化脓性球菌的一类常见细菌,广泛存在于自然界中,在健康人的鼻咽部以及人和动物粪便中较常见,但是大多数都不致病。其中无乳链球菌等链球菌是鱼类等水产动物的常见致病菌<sup>[35]</sup>。

崔森等<sup>[36]</sup>研究了 100 种中草药的醇提取物对罗非鱼链球菌的体外抑制效果,其中桑白皮对无乳链球菌的抑杀效果最好,其 MIC 和 MBC 均为 0.390 6 mg/mL;而藿香、豨莶草和槐角对海豚链球菌的抑杀效果最好,其 MIC 和 MBC 均为 0.390 6 mg/mL。研究表明,一些中草药的水提取物对罗非鱼源无乳链球菌的体外抑菌效果由高到低为:黄连、五倍子>石榴皮>连翘、诃子、鸡血藤、黄芩,其 MIC 分别为 3.9、15.6、

62.5 mg/mL<sup>[37]</sup>。此外,姚丽等<sup>[38]</sup>研究表明,黄连、黄芩、连翘、丁香、秦皮的水提取物对鲟鱼源海豚链球菌具有较好的防治效果,其 MIC 和 MBC 分别为 1.95 和 3.90 mg/mL、1.95 和 15.62 mg/mL、3.90 和 7.81 mg/mL、3.90 和 15.62 mg/mL、7.81 和 7.81 mg/mL,由此可知,黄连和黄芩的抑菌效果最好。

丁月霞等<sup>[37]</sup>将 10 种中草药水提取物中对罗非鱼源无乳链球菌抑制效果较好的 7 味中草药用棋盘交叉法进行了联合用药,结果表明,黄连与诃子、黄连与黄芩、连翘与鸡血藤、连翘与黄芩、诃子与石榴皮、诃子与鸡血藤以及诃子与黄芩联合用药均呈现协同作用,其余药物联用组合均呈现无关或拮抗作用。由此可见,并不是所有的中药配伍都可以起到协同增效的作用,有的中药之间配伍会出现无关作用,甚至还会出现拮抗作用,抑菌效果反而低于单味中草药。

袁国尚等<sup>[39]</sup>对 10 种复方中草药水提取物对鲟源海豚链球菌的抑菌效果进行了研究,结果显示,10 种复方中草药均有一定的抑制鲟源海豚链球菌的效果,其中九味羌活汤和桑菊饮对鲟源海豚链球菌的抑杀效果最强,其 MIC 均为 62.5 mg/mL, MBC 均为 125.0 mg/mL。Abarike 等<sup>[40]</sup>探讨了一种中药合剂(黄芪、当归、湖北山楂以 1:1:1 的质量比配伍)对尼罗罗非鱼的影响,结果显示,尼罗罗非鱼被无乳链球菌攻击后,中药组的存活率为 70%,而对照组为 35%,表明该中药合剂能提高尼罗罗非鱼的免疫应答和抗病能力。

## 5 迟缓爱德华氏菌

迟缓爱德华氏菌(*Edwardsiella tarda*, Et)又称迟钝爱德华氏菌或缓慢爱德华氏菌,革兰氏阴性菌。近年来,迟缓爱德华氏菌已经在 20 多种鱼类中引起了病害,给水产养殖造成了巨大损失。同时迟缓爱德华氏菌也是爱德华氏菌属中唯一能够感染人的致病菌,危害极大<sup>[41]</sup>。

陈言峰等<sup>[42]</sup>发现五倍子、乌梅、大青叶和石榴皮等的水提取物对迟缓爱德华氏菌具有明显的抑菌作用,其 MIC < 6.25 mg/mL, MBC < 50.00 mg/mL。同样,刘克奉<sup>[21]</sup>研究 6 种中草药的水提取物对迟缓爱德华氏菌的抑菌效果,发现蒲公英、石榴皮、黄芩、鱼腥草、黄柏表现出相似的抑菌活性,其 24 h 的 MIC 均为 31.25 mg/mL;而连翘相对较弱, MIC 为 62.50 mg/mL。五倍子、石榴皮、诃子、黄芩和乌梅等中草药的水提取物对迟缓爱德华氏菌均具有一定的抑菌效果,最强的是五倍子和黄芩, MIC 为 25 mg/mL;其次是石榴皮和诃子, MIC 为 50 mg/mL;乌梅的抑菌效果较差, MIC 为 100 mg/mL<sup>[13]</sup>。王凯等<sup>[24]</sup>研究了黄连素对海水病原菌的杀灭效果,结果显示,黄连素对迟缓爱德华氏菌的 MIC 为 0.128 mg/mL,其杀菌作用最强, MBC 为 0.256 mg/mL。由此可见,不同的研究者报道的同种中药对同一致病菌的抑制效果不尽相同,如上述提到的五倍子、石榴皮和乌梅等对迟缓爱德华氏菌的 MIC 不一致,其原因可能是中药的产地、采集时间或加工方法等不同,导致其相应的有效成分含量不同。

Harikrishnan 等<sup>[43]</sup>发现饲料中添加黄芩提取物可以有效地抑制迟缓爱德华氏菌的生长。饲料中分别添加 0.2% 和 1.0% 的番石榴提取物或 2.0% 的含羞草提取物,可以增强条

纹鲈鱼的免疫系统和降低其感染爱德华氏菌后的死亡率,从而改善其健康状况<sup>[44]</sup>。

## 6 小结及展望

综上所述,很多单味中药对多种水产动物致病菌具有较强的抑菌作用,如五倍子、黄芩、石榴皮、黄连等,同一种中药不同溶剂的提取物抑菌活性不同,绝大多数是醇提取物作用强于水提取物,说明有效成分在醇提取物中含量更高。而不同中药的配伍或中药复方的使用,也可大幅度提高其抑、杀菌活性,这体现出中药多组分协同作用的特色。因此,中药配伍给药在水产养殖业中具有很大的应用前景。

然而,目前大多数中草药在水产养殖中的应用仅限于其粗提取物。而中草药粗提取物的使用存在着一些缺点,如有效成分含量低、原料用量大、疗效慢等,从而影响中草药防治技术的推广和应用;此外,不同产地、季节、加工方法等都会影响中药材的质量,导致其有效成分的种类和含量差别较大,质量难以控制,从而引起很大的疗效差异。

中药有效部位是中药某类或某几类成分的混合物,具备中药特有的多成分、多靶点作用特点,只是除去了无效或低效成分,使中药疗效更强、作用更加专一,同时达到化学成分清楚、质量易控的目的。中药有效部位的配伍是中药配伍的新模式,也是中药现代化的趋势。因此,今后在水产养殖业中,中药有效部位的配伍可为渔药、饲料添加剂的生产加工提供新的思路和模式,具有远大的应用前景。

## 参考文献

- [1] 王洪彬,朱利霞,杨楠,等.常用中草药对水产动物致病菌体外抑菌效果研究[J].中国畜牧兽医,2018,45(5):1357-1366.
- [2] 杨先乐.新编渔药手册[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [3] 肖倩.水产养殖中抗生素滥用问题研究[J].养殖与饲料,2020,19(10):46-48.
- [4] 陈昌福.农业农村部“禁抗”意义何在?我们又该如何科学使用抗生素类渔药? [J].当代水产,2020,45(2):86-88.
- [5] 李停.养殖业抗生素利用法律规制问题研究[D].保定:河北大学,2020.
- [6] 李宏伟.中草药对水产动物疾病的防治[J].中国高新区,2018(9):211.
- [7] 王雅丽,王语同,吴从迪,等.渔用中草药的研究进展(下)[J].科学养鱼,2020(7):46-47.
- [8] 成亚辉,王子艺,高栋业,等.噬菌体防治嗜水气单胞菌相关疾病的研究进展[J].贵州农业科学,2020,48(11):48-53.
- [9] 谢丽玲,唐伟,李培培,等.三种中药的醇提液对嗜水气单胞菌的抑制作用[J].中国生物化学与分子生物学报,2014,30(10):1007-1016.
- [10] 周亮,谢丽玲,朱琳,等.大黄醇提取物对嗜水气单胞菌抑菌活性及其机制[J].微生物学杂志,2017,37(4):40-45.
- [11] 韦盘秋,鲁晶娣,黄杰,等.8 种中草药对常见水产病原菌的抑制作用[J].畜牧与兽医,2018,50(11):115-119.
- [12] 王意,张博涵,陆一鸣,等.黄芩提取物对嗜水气单胞菌抑菌活性和机制的研究[J].陕西科技大学学报,2019,37(6):73-78,104.
- [13] 石洪玥,陆颖,卢正义,等.不同盐度下 5 种中草药对 2 种水产动物致病菌的抑菌效果比较[J].江苏农业科学,2019,47(1):162-165.
- [14] 夏与晴,刘文珍,傅松哲,等.25 种中草药及其联合用药配伍对 5 种水产养殖常见致病菌的抑菌作用[J].大连海洋大学学报,2019,34(1):7-14.
- [15] 朱璐丹,陈凯,刁丙文,等.秦皮素的抑菌作用及其对嗜水气单胞菌毒力的影响[J].中国水产科学,2019,26(5):984-992.
- [16] 陈杰豪,缪玉佳,梁超,等.山姜素对鱼源耐药性嗜水气单胞菌体外抗作用的研究[J].生物技术通报,2021,37(2):103-110.
- [17] ZHAO Z L, ZHANG H J, WANG M Q, et al. The ethanol extract of honey-suckle stem modulates the innate immunity of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* against *Aeromonas hydrophila* [J]. Fish and shellfish immunology, 2018, 82:304-311.
- [18] GOBI N, RAMYA C, VASEEHARAN B, et al. *Oreochromis mossambicus* diet supplementation with *Psidium guajava* leaf extracts enhance growth,

- immune, antioxidant response and resistance to *Aeromonas hydrophila* [J]. *Fish and shellfish immunology*, 2016, 58: 572–583.
- [19] 曾福源, 伍艳清, 邱明生, 等. 溶藻弧菌 III 型分泌系统 C-环组分 VscQ 的原核表达及免疫原性 [J]. *安徽农业通报*, 2020, 26(18): 101–105.
- [20] 程海燕, 庞欢瑛, 鲁义善, 等. 溶藻弧菌 acfA 基因克隆与生物信息学分析 [J]. *广东海洋大学学报*, 2014, 34(1): 9–14.
- [21] 刘克春. 6 种中草药对 2 株致病菌的抑菌效果比较 [J]. *水产养殖*, 2013, 34(10): 49–54.
- [22] 冯锐基, 庞欢瑛, 黄郁葱, 等. 五倍子和石榴皮对溶藻弧菌及其生物膜的体外抑制作用 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(11): 1–3, 11.
- [23] 刘明珠, 肖贺贺, 余庆, 等. 黄连水提物对卵形鲳鲹源溶藻弧菌的抑菌作用 [J]. *广西科学院学报*, 2019, 35(2): 119–123.
- [24] 王凯, 于永翔, 张正, 等. 黄连素对海水病原菌的杀灭效果及药效稳定性 [J]. *水产科学*, 2019, 38(1): 67–72.
- [25] NG'AMBI J W, LI R H, MU C K, et al. Dietary administration of saponin stimulates growth of the swimming crab *Portunus trituberculatus* and enhances its resistance against *Vibrio alginolyticus* infection [J]. *Fish and shellfish immunology*, 2016, 59: 305–311.
- [26] 朱宇嘉, 辛年香, 朱志东, 等. 中草药复方对虾体内外抑弧菌效果研究 [J]. *科学养鱼*, 2019(7): 44–45, 29.
- [27] HOSSAIN M M, UDDIN M I, ISLAM H, et al. Diagnosis, genetic variations, virulence, and toxicity of AHPND-positive *Vibrio parahaemolyticus* in *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture international*, 2020, 28(6): 2531–2546.
- [28] 余达勇, 陈碧秀, 钟永军, 等. 对虾急性肝胰腺坏死致病菌 HY3 鉴定及耐药分析 [J]. *水产科学*, 2020, 39(6): 844–851.
- [29] 谢丽玲, 赵水灵, 余飞, 等. 黄连素对 3 种水产动物致病菌的抑制作用研究 [J]. *南方水产科学*, 2013, 9(4): 45–49.
- [30] 任海, 华智杰, 魏云卓, 等. 38 种中草药对大菱鲆源副溶血弧菌的抑杀效果 [J]. *河北科技师范学院学报*, 2020, 34(1): 24–29.
- [31] 戴碧鑫, 董碧莲, 蔡延渠, 等. 黄芩原药材、药渣的黄芩苷含量测定及体外抗菌活性研究 [J]. *广州中医药大学学报*, 2020, 37(4): 722–725.
- [32] 张政, 马更勤, 王宏勋, 等. 生姜提取物对副溶血弧菌抑制作用研究 [J]. *武汉轻工大学学报*, 2020, 39(2): 1–6, 21.
- [33] ZHANG Z, YANG Z Y, WANG Y G, et al. Effectiveness of garden burnet, *Sanguisorba officinalis* L., in controlling acute hepatopancreatic necrosis disease caused by infection of *Vibrio parahaemolyticus* in shrimp farming [J/OL]. *Aquaculture*, 2021, 531 [2020–11–17]. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735875>.
- [34] ZHAI Q Q, LI J. Effectiveness of traditional Chinese herbal medicine, San-Huang-San, in combination with enrofloxacin to treat AHPND-causing strain of *Vibrio parahaemolyticus* infection in *Litopenaeus vannamei* [J]. *Fish and shellfish immunology*, 2019, 87: 360–370.
- [35] 程世亮, 刘新风, 郑文, 等. 鱼类无乳链球菌病 [J]. *动物医学进展*, 2016, 37(2): 105–109.
- [36] 崔淼, 刘茹, 张辉杰, 等. 100 种中草药对无乳链球菌和海豚链球菌体外抑杀研究 [J]. *生态科学*, 2019, 38(4): 71–76.
- [37] 丁月霞, 叶梓茵, 岑雪萍, 等. 中草药水提物对罗非鱼无乳链球菌的体外抑菌效果 [J]. *中兽医医药杂志*, 2019, 38(4): 15–17.
- [38] 姚丽, 董春燕, 陈江凤, 等. 30 种中草药对鲟鱼源海豚链球菌的体外抑菌作用 [J]. *水产科学*, 2020, 39(1): 111–116.
- [39] 袁国尚, 张安青, 姚丽, 等. 10 种复方中草药对鲟源海豚链球菌的体外抑菌效果研究 [J]. *饲料工业*, 2020, 41(18): 13–16.
- [40] ABARIKE E D, JIAN J C, TANG J F, et al. Traditional Chinese medicine enhances growth, immune response, and resistance to *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia [J]. *Journal of aquatic animal health*, 2019, 31(1): 46–55.
- [41] 李飞翔. 迟缓爱德华氏菌及鱼类迟缓爱德华氏菌研究进展 [J]. *江西水产科技*, 2019(2): 28–29.
- [42] 陈言峰, 邹记兴. 20 种中草药对迟缓爱德华氏菌的体外抑菌试验 [J]. *水生生态学杂志*, 2011, 32(5): 110–113.
- [43] HARIKRISHNAN R, KIM M C, KIM J S, et al. Protective effect of herbal and probiotics enriched diet on haematological and immunity status of *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel) against *Edwardsiella tarda* [J]. *Fish and shellfish immunology*, 2011, 30(3): 886–893.
- [44] NHU T Q, BICH HANG B T, BACH L T, et al. Plant extract-based diets differently modulate immune responses and resistance to bacterial infection in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) [J]. *Fish and shellfish immunology*, 2019, 92: 913–924.

#### (上接第 11 页)

- [37] 贾凤梅, 梅淑花, 魏雅冬. 不同耕作方式下玉米农田土壤养分及土壤微生物活性变化 [J]. *水土保持研究*, 2018, 25(5): 112–117.
- [38] 刘怀珍, 黄庆, 李康活, 等. 水稻连续免耕抛秧对土壤理化性状的影响初报 [J]. *广东农业科学*, 2000, 27(5): 8–11.
- [39] 肖美佳, 张晴雯, 董月群, 等. 免耕对土壤微生物量碳影响的 Meta 分析 [J]. *核农学报*, 2019, 33(4): 833–839.
- [40] 潘孝晨, 唐海明, 肖小平, 等. 不同土壤耕作方式下稻田土壤微生物多样性研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35(23): 51–57.
- [41] 孔凡磊, 张明园, 范士超, 等. 耕作方式对长期免耕农田土壤微生物量碳的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 240–245.
- [42] 张明园, 黄光辉, 孔凡磊, 等. 耕作方式对华北冬小麦田土壤微生物量碳分布特征的影响 [J]. *生态环境学报*, 2011, 20(3): 409–414.
- [43] PITTELKOW C M, LINQUIST B A, LUNDY M E, et al. When does no-till yield more? A global meta-analysis [J]. *Field crops research*, 2015, 183: 156–168.
- [44] 李玲玲, 黄高宝, 秦舒浩, 等. 保护性耕作对绿洲灌区冬小麦产量形成的影响 [J]. *作物学报*, 2011, 37(3): 514–520.
- [45] 邵运辉, 吕军杰, 李俊红, 等. 长期免耕覆盖对旱地小麦-玉米周年产量及水分利用的影响 [J]. *河南农业科学*, 2020, 49(12): 17–23.
- [46] 金亚征, 谢瑞芝, 冯聚凯, 等. 保护性耕作方式下华北平原夏玉米产量效应研究 [J]. *玉米科学*, 2008, 16(4): 143–146.
- [47] BÜCHI L, WENDLING M, AMOSSÉ C, et al. Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland [J]. *Soil and tillage research*, 2017, 174: 120–129.
- [48] ALVAREZ R, STEINBACH H S A. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas [J]. *Soil and tillage research*, 2009, 104(1): 1–15.
- [49] 刘世举, 张候平, 李彤, 等. 耕作方式对西北旱作农田土壤特性及冬小麦产量的影响 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28(9): 1411–1418.
- [50] 张雄智, 李帅帅, 刘冰洋, 等. 免耕与秸秆还田对中国农田固碳和作物产量的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(5): 1–12.
- [51] RUISE P, GIAMBALVO D, SAIA S, et al. Conservation tillage in a semiarid Mediterranean environment: Results of 20 years of research [J]. *Italian journal of agronomy*, 2014, 9(1): 1–7.
- [52] GRISTINA L, KEESSTRA S, NOVARA A. No-till durum wheat yield success probability in semi arid climate: A methodological framework [J]. *Soil & tillage research*, 2018, 181: 29–36.
- [53] TANER A, ARISOY R Z, KAYA Y, et al. The effects of various tillage systems on grain yield, quality parameters and energy indices in winter wheat production under the rainfed conditions [J]. *Fresenius environmental bulletin*, 2015, 24(4): 1463–1473.
- [54] MARTÍNEZ E, FUENTES J P, SILVA P, et al. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile [J]. *Soil and tillage research*, 2008, 99(2): 232–244.
- [55] BROUDER S M, GOMEZ-MACPHERSON H. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence [J]. *Agriculture, ecosystems and environment*, 2014, 187: 11–32.
- [56] 吴红丹, 李洪文, 李问盈, 等. 中美两国保护性耕作的管理与应用对比分析 [J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(2): 40–44.