

超微浒苔对凡纳滨对虾消化酶活力的影响

王万骞*, 陈小金, 刘洋

(天津出入境检验检疫局动植物与食品检测中心, 天津 300461)

摘要: **目的** 研究超微浒苔的不同添加量对凡纳滨对虾消化酶活力的影响。**方法** 取凡纳滨对虾幼虾 450 尾, 采用简单随机抽样的方法分成 18 个组放入 18 个相同规格的养殖水箱中。对照组不添加浒苔, I、II、III、IV、V 组浒苔添加量分别为 1%、2%、3%、4%、5%, 各组饲料营养水平除代谢能有微小差异外均完全一致。试验期 42 d, 于 42 日龄进行凡纳滨对虾胃肠道消化酶活性的测定。**结果** 2%、3%、4% 的浒苔添加量可显著提高凡纳滨对虾的胃蛋白酶、胃脂肪酶、胰肠蛋白酶和胰肠脂肪酶的活性。各浒苔添加水平对胃、肠淀粉酶的活性影响均不显著。**结论** 本试验条件下, 以凡纳滨对虾饲料中超微浒苔添加量为 3% 最好。

关键词: 超微浒苔; 凡纳滨对虾; 蛋白酶; 淀粉酶; 脂肪酶

Effect of ultramicro *Enteromorpha prolifera* on activity of digestive enzymes in *Litopenaeus vannamei*

WANG Wan-Qian*, CHEN Xiao-Jin, LIU Yang

(Animal, Plant and Foodstuffs Inspection Center, Tianjin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tianjin 300461, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of different adding amounts of ultramicro *Enteromorpha prolifera* on digestive enzyme activity in *Litopenaeus vannamei*. **Methods** Totally 450 juvenile *Litopenaeus vannamei* were randomly divided into 18 groups in 18 breeding tanks of different specifications. The control group was not added with *Enteromorpha prolifera*, while groups I, II, III, IV, and V received *Enteromorpha prolifera* with the adding amount of 1%, 2%, 3%, 4%, and 5%, respectively. The dietary nutrient levels were identical between each group except slight differences in metabolic energy. At d 42 of test, the digestive enzyme activity was determined in gastrointestinal tract in *Litopenaeus vannamei* at the age of 42 days. **Results** Adding amount of 2%, 3%, and 4% *Enteromorpha prolifera* can significantly improve the activity of gastric pepsin and lipase, pancreatic and intestinal protease and lipase in *Litopenaeus vannamei*. The effect of supplementation of *Enteromorpha prolifera* on activity of gastric and intestinal amylase was not significant. **Conclusion** Under the condition of this experiment, the best adding amount was 3% ultramicro *Enteromorpha prolifera* in the feed for *Litopenaeus vannamei*.

KEY WORDS: ultramicro *Enteromorpha prolifera*; *Litopenaeus vannamei*; protease; amylase; lipase

1 引言

海藻粉作为水产及畜牧饲料已有几十年的历史。

研究证明, 海藻对动物无不良反应, 能改进饲料的营养结构并能提高饲料利用率, 增强免疫力, 提高成活率, 提高水产动物的品质^[1-7]。浒苔属(*Enteromorpha*),

*通讯作者: 王万骞, 助理兽医师, 主要研究方向为动物及动物产品兽药残留检测。E-mail: wangwq@tjciq.gov.cn

*Corresponding author: WANG Wan-Qian, Assistant Veterinarians, Animal, Plant and Foodstuffs Inspection Center, Tianjin Exit-Entry Inspection and Quarantine Bureau, No.158 Jingmen Road, Free Trade Zone, Tianjin Port, Tianjin 300461, China. E-mail: wangwq@tjciq.gov.cn

在分类学上属绿藻门(*Chlorophyta*)、石莼目(*Ulvales*)、石莼科(*Ulvaceae*), 是野生藻类资源中的优势种, 广泛分布于中、低潮区的砂砾、岩石、滩涂和石沼海岸中。福建近海浒苔属的主要优势品种有: 缘管浒苔(*E.linza*)、肠浒苔(*E.intestinakis*)、浒苔(*E.prolifera*)、条浒苔(*E.clathrata*)。浒苔藻体碧绿, 味清香鲜美, 营养丰富, 具清热解毒之功效, 是沿海居民喜食的海藻之一^[8]。自古以来, 浒苔即为食用和药用藻类, 《本草纲目》^[9,10]中便早有记载。

凡纳滨对虾, 又称南美白对虾, 原产于南美洲太平洋沿岸, 是世界养殖产量最高的三大优良虾种之一, 具有对水环境抗逆能力强, 营养要求低, 生长快, 肉味鲜美, 全年可进行育苗生产和有较强的抗病能力等优点^[11]。近年来在我国迅速推广, 尤其是华南沿海地区成为仅次于斑节对虾的养殖品种。而作为添加剂成分的海藻对南美白对虾生长、饲料利用及体组成成分的影响尚未见报道。

目前, 浒苔的利用仅限于沿海渔民少量采收和使用, 资源利用不足。国内对浒苔研究很少, 浒苔饲料添加剂的研究刚刚起步, 其深度加工工艺研究以及藻粉在水产饲料添加剂上的应用鲜见报道, 亟待开发和利用。生长植食性鱼类的饲料中添加浒苔后, 能起到促进生长, 提高饲养效益的作用。但浒苔在植食性鱼类的饲料中的适宜添加量、添加方式、配套配方技术及对植食性鱼类的品质和免疫机能等诸多的影响, 还有待进一步研究。利用浒苔做饲料既可变害为宝, 还可节约粮食资源, 提高水产品的质量和安全水平^[12,13]。植物性成分作为饲料添加剂最大的难题是植物细胞具有细胞壁, 鉴于此, 本实验对浒苔进行超微粉碎处理, 并将超微粉碎浒苔作为凡纳滨对虾饲料添加剂, 通过对不同添加浓度的超微浒苔的养殖试验, 考察超微浒苔对凡纳滨对虾消化酶活力的影响, 以期对绿潮藻类地合理利用和减灾提供参考。

2 材料和方法

2.1 实验材料

浒苔原料经过海水过滤冲洗, 去泥, 带回实验室, 继续用自来水冲洗 2 次。沥干, 晾晒, 直到无水滴留下时, 放入 60 °C 烘箱烘干, 利用低温粉碎机把烘干的浒苔制成藻粉, 保存备用。

2.2 实验动物及分组

选择凡纳滨对虾幼虾 450 尾, 禁食 24 h 后采取简单随机抽样的方法分成 18 个组放入 18 个相同规格的养殖水箱中。平衡水温, 消毒循环水暂养。将 18 个水箱分别记为对照组 1、对照组 2、对照组 3、超微组 I-1、超微组 I-2、超微组 I-3、超微组 II-1、超微组 II-2、超微组 II-3、超微组 III-1、超微组 III-2、超微组 III-3、超微组 IV-1、超微组 IV-2、超微组 IV-3、超微组 V-1、超微组 V-2、超微组 V-3。其中 1、2、3 互为平行组。I、II、III、IV、V 组饲料中的超微浒苔添加量分别为 1%、2%、3%、4%、5%。进行为期 28 d 的饲养。

2.3 饲料的组成

将干燥好的浒苔藻粉超微处理, 制成粉末。按照准确的计量配制, 均匀混合制成浒苔藻粉。将浒苔藻粉与常规饲料按照规定的比例混合制成试验用水产饲料。

2.4 生长指标

在实验 d 21(生长第 1 阶段末)和 d 42(生长第 2 阶段末)分别对每组全部取样, 分析电子天平精确称质量, 记录好数据。并记录好病、死鱼的数量。用于计算凡纳滨对虾的增质量率、特定生长率、饲料效率、肥满度和成活率。

2.5 胃肠消化酶活性

饲养试验至 d 42 后, 对凡纳滨对虾停食 2 h。从每个水产养殖试验水箱中随机抽取 10 尾对虾。提取凡纳滨对虾的胃肠组织, 做好标记, 于 -80 °C 冰箱贮存。

取出经低温贮存的样品解冻。按照淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活性检测试剂盒计算出所需样品量, 分别称取所需样品。按要求加入 0.9% 氯化钠注射液或者试剂盒指定试剂进行冰浴研磨 10 min 制成 10% 或 20% 的匀浆液。然后置于 4 °C 离心机中 3500 r/min 离心 10 min, 取上清液用于酶的活性测定。采用南京建成生物工程研究所试剂盒分别测定胃肠的淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶的活性。

2.6 统计学方法

试验数据采用 Excel 软件整理, 数据以均值±标准差(±s)表示, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果与分析

3.1 添加超微浒苔对凡纳滨对虾生长性能的影响

经 42 d 的饲养, 饲料中添加超微浒苔对凡纳滨对虾生长性能的影响见表 1。凡纳滨对虾摄食 3% 超微浒苔饲料后增质量率、特定生长率、肥满度最高, 饲料系数最低, 增质量率和特定生长率分别较对照组提高了 35.05% ($P<0.01$) 和 7.06% ($P<0.05$), 肥满度提高了 27.78%, 饲料系数下降 9.21%。添加 2%、4%、5% 超微浒苔组也有提高鱼体增质量率和特定生长率的趋势。

增质量率(mass gain rate) = [末均质量(g)-初均质量(g)]/初均质量(g)×100%;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = 总投饲质量(g)/[末质量(g)-初质量(g)];

成活率(survival rate, SR) = 试验末鱼尾数/试验初鱼尾数×100%;

肥满度(condition factor, CF) = 鱼体质量(g)/鱼体长(cm)×100%;

特定生长率=(ln 试验末鱼体质量(g)-ln 试验初鱼体质量(g))/试验时间×100%。

3.2 饲料中不同浒苔水平对胃肠道蛋白酶活性的影响

由表 2 可见, 凡纳滨对虾胃组织中, 各试验组胃蛋白酶活性均高于对照组。其中 I、II、III、IV、V 组分别较对照组提高 13.94% ($P<0.05$)、50.84% ($P<0.05$)、51.66% ($P<0.05$)、47.06% ($P<0.05$)、49.70% ($P<0.05$)。各试验组胰肠蛋白酶活性同样均高于对照组。其中 I、II、III 组分别较对照组提高 22.12% ($P<0.05$)、30.33% ($P<0.05$)、58.66% ($P<0.01$)。

3.3 饲料中不同浒苔水平对胃肠道淀粉酶活性的影响

由表 3 可见, 凡纳滨对虾胃组织中, 各试验组胃淀粉酶活性均高于对照组。其中 II、III、IV 组分别较对照组提高 17.19%、28.51%、28.96% (P 均 <0.01)。各试验组胰肠淀粉酶活性同样均高于对照组, 其中 III 组较对照组提高 29.44% ($P<0.05$)。

3.4 饲料中不同浒苔水平对胃肠道脂肪酶活性的影响

由表 4 可见, 凡纳滨对虾胃组织中, 各试验组胃脂肪酶活性均高于对照组。其中 II、III、IV 组分别较

表 1 添加超微浒苔对凡纳滨对虾性能的影响

Table 1 Effect of addition of ultramicro *Enteromorpha prolifera* on the performance of *Litopenaeus vannamei*

指标	超微浒苔添加量					
	对照组	I	II	III	IV	V
增质量率	80.41±3.34	82.51±6.96	98.6±9.60*	108.59±10.64**	100.31±11.64*	92.46±6.13
特定生长率	4.53±0.21	4.59±0.05	4.72±0.19	4.85±0.10*	4.63±0.10	4.66±0.30
饲料系数	1.66±0.17	1.61±0.10	1.57±0.08	1.52±0.05	1.60±0.07	1.69±0.05
肥满度	2.16±0.49	2.28±0.87	2.30±0.85	2.76±1.18	2.33±0.63	2.26±0.97
成活率	0.71±0.05	0.71±0.02	0.73±0.05	0.73±0.05	0.73±0.02	0.72±0.11

* $P<0.05$ vs. 对照组, ** $P<0.01$ vs. 对照组

表 2 饲料中不同浒苔水平对胃肠道蛋白酶活性的影响

Table 2 Effect of different levels of *Enteromorpha prolifera* in the feed on protease activity in gastrointestinal tract

组别	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组
胃蛋白酶	55.59±3.43	63.34±3.13*	83.85±15.12*	84.31±9.74*	81.75±11.35*	83.22±11.35*
胰肠蛋白酶	1116.4±127.75	1363.3±79.70*	1455.0±22.81**	1771.3±22.81**	1290.0±73.69	1175.1±176.2

* $P<0.05$ vs. 对照组, ** $P<0.01$ vs. 对照组

表 3 饲料中不同浒苔水平对胃肠道淀粉酶活性的影响

Table 3 Effect of different levels of *Enteromorpha prolifera* in the feed on amylase activity in gastrointestinal tract

组别	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组
胃淀粉酶	2.21±0.15	2.31±0.21	2.59±0.55**	2.84±0.90**	2.85±0.10**	2.23±0.12
胰肠淀粉酶	2.14±0.09	2.19±0.10	2.44±0.26	2.77±0.55*	2.35±0.47	2.16±0.13

* $P < 0.05$ vs. 对照组, ** $P < 0.01$ vs. 对照组

表 4 饲料中不同浒苔水平对胃肠道脂肪酶活性的影响

Table 4 Effect of different levels of *Enteromorpha prolifera* in the feed on lipase activity in gastrointestinal tract

组别	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组
胃脂肪酶	82.41±2.21	89.84±4.91	102.12±9.53**	102.05±8.85**	95.73±6.40*	87.12±6.21
胰肠脂肪酶	91.01±7.85	101.10±9.53	123.29±15.15*	124.75±28.22*	123.84±5.28*	107.89±12.02

* $P < 0.05$ vs. 对照组, ** $P < 0.01$ vs. 对照组

对照组提高 23.92% ($P < 0.01$)、23.83% ($P < 0.01$)、16.16% ($P < 0.05$)。各试验组胰肠脂肪酶活性同样均高于对照组。其中 II、III、IV 组分别较对照组提高 32.28%、51.38%、50.27% (P 均 < 0.05)。

4 讨论

4.1 饲料中添加超微浒苔对生长性能的影响

Kozasa^[14,15]将有益活菌制剂开始被作为添加剂使用。实验结果显示对虾生长的各阶段中, 实验组与对照组比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。从两阶段实验组与对照组比较来看, 第 1 阶段芽孢杆菌对机体的促生长作用略大于第 2 阶段; 在生长的每一阶段, 实验组成活率比对照组都有不同程度的提高, 且第 1 阶段成活率大于第 2 阶段。实验结果表明饲料中添加芽孢杆菌制剂可以提高机体免疫力和成活率, 促进生长。

浒苔经淡水冲洗后干物质中蛋白质含量 11.16%, 粗脂肪 1.50%, 粗纤维 6.70%, 钙 1.55%。总氨基酸 (TAA) 含量 9.58%, 占粗蛋白质的 85.84%, 且必需氨基酸种类齐全, EAA 占总氨基酸的 43%。呈味氨基酸占总量的 56% 以上。微量元素丰富, 特别是 Fe、Cu、Zn 3 种动物必需微量元素的含量均明显高于同域生长的其他藻类。而对动物有害的其他重金属元素 (尤其是 Pb 和 As) 则是同海域海藻中最低的一种^[16]。因此, 浒苔是优质的天然藻类饲料资源, 营养平衡, 营养物质利用率高。生长植食性鱼虾类的饲料中添加浒苔后, 能起到促进生长, 提高饲料效益的作用。

本实验用超微浒苔作为添加剂。饲料添加量在 2%、3%、4% 时, 可以明显提高增质量率, 肥满度和特定生长率, 降低饲料系数, 且成活率相较其他组的都要更高。

4.2 饲料中添加超微浒苔对消化酶的影响

郝凤奇等^[17]在育肥牛饲料中添加海藻提取物, 发现饲料蛋白质的消化率提高了 18.82% ($P < 0.05$); 刘立鹤等^[18]在凡纳滨对虾饲料中添加 0.4% 的海带粉, 结果使粗蛋白质的表观消化率提高 6.04% ($P < 0.05$), 均与本实验结果一致。本试验中, 浒苔粉添加量在 3% 时, 可明显促进凡纳滨对虾对饲料中的养分的消化吸收。当浒苔粉添加量在 4% 时, 对部分养分的消化吸收降低, 出现剂量效应。可见, 添加适宜水平的浒苔可以促进肉鸡对饲料中养分的消化吸收, 但剂量过高效果微弱甚至会降低机体对饲料养分的消化吸收率。

进一步对 42 日龄凡纳滨对虾消化酶影响分析发现, 2%、3%、4% 的浒苔水平均能显著或者极显著增强凡纳滨对虾的腺胃和胰肠中的蛋白酶和脂肪酶活性 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 且脂肪酶的活性提高幅度较淀粉酶的大。由此推断, 浒苔主要影响凡纳滨对虾的脂肪酶活性, 尤其是胰肠脂肪酶的活性。周歧存等^[19]在以鱼粉、豆粕为主要蛋白源的饲料中添加不同浓度的海藻粉 (3%、6%、9%、12%), 喂养体质量为 6~6.7 g 的罗氏沼虾, 结果表明, 添加 3% 组的虾体增质量和成活率最高, 对照组最低, 与本实验结果相符合。胰肠道蛋白酶和淀粉酶的活性增强, 能够促进组织

对饲料中蛋白质和糖类的消化吸收,而肠道内容物中消化酶的活性反映了酶分泌与酶降解的动态平衡,酶活性的增加主要与酶分泌增多或酶降解减少有关。浒苔对凡纳滨对虾消化酶活性具有正向促进作用,可能是由于浒苔多糖等活性物质能够增强机体的免疫力、减少应激,把与病变相关的无效免疫应答降到最低限度,减少酶的降解;也可能是由于浒苔多糖的不同结构单元能够富集微量元素形成的功能性物质,具有缓解有害物质对肠道的刺激和对酶类的生物保护作用^[20-22]。朱新产等^[23]认为,海藻多糖能够影响酶和蛋白质水平的表达,改善机体能量代谢和养分利用。

参考文献

- [1] 周歧存,肖风波. 海藻在南美白对虾饲料中的应用研究[J]. 海洋科学, 2003, 27(3): 66-69.
Zhou QC, Xiao FB. The application of algae in the South America white shrimp feed research [J]. J Mar Sci, 2003, 27(3): 66-69.
- [2] 范晓. 海藻作为饲料添加剂的研究和利用[J]. 饲料工业, 1991, 12(11): 14-16.
Fan X. Of research and utilization of algae as feed additives [J]. J Feed Ind, 1991, 12(11): 14-16.
- [3] 孙建凤,宋宏立,赵军,等. 饲料中不同浒苔水平对肉鸡养分利用率和消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(6): 1658-1664.
Sun JF, Song HL, Zhao J, et al. Fodder in the different level of enteromorpha influence on chicken nutrient utilization and digestive enzymes activity [J]. J Anim Nutr, 2010, 22(6): 1658-1664.
- [4] 孙国强,胡昌军,李国兴,等. 浒苔粉对奶牛产奶性能及粪便微生物菌群的影响[J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(6): 54-56.
Sun GQ, Hu CJ, Li GX, et al. Enteromorpha powder milk cows on the performance and impact of fecal microbes flora [J]. J Anim Husb Anim Med, 2010, 42(6): 54-56.
- [5] Albertus JS. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: a review [J]. Appl Phycol, 2004, 16: 245-262.
- [6] Tian XL, et al. Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea eucumber *Apostichopus japonicus*(Selenka) [J]. Aquaculture, 2009, 286(3-4): 266-270.
- [7] Onder Y, Sebahattin E, Seval Y, et al. Effects of two seaweeds(*Ulva lactuca* and *Enteromorpha linza*) as a feed additive in diets on grow performance, feed utilization, and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Kafkas Univ Vet Fak Derg, 2009, 15(3): 455-460.
- [8] Galan A, 张威, 苏秀榕, 等. 浒苔和龙须菜营养成分的研究[J]. 水产科学, 2010, 29(6): 329-333.
Galan A, Zhang W, Su XR, et al. Enteromorpha and asparagus nutritional research [J]. J Fish Sci, 2010, 29(6): 329-333.
- [9] 国家中医药管理局. 中华本草(第一册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999.
The State Administration of Traditional Chinese Medicine. Chinese Materia Medica (Volume 1) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1999.
- [10] 张金荣, 唐旭利, 李国强. 浒苔化学成分研究[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(5): 93-95.
Zhang JR, Tang XL, Li GQ. Enteromorpha chemistry study [J]. J Ocean Univ China, 2010, 40(5): 93-95.
- [11] 张伟权. 南美白对虾半精养生产技术指南[M]. 北京: 海洋科学编辑部出版, 1994.
Zhang WQ. South America white shrimp semi refined production technology guide [M]. Beijing: Journal of Marine Science Editorial Publishing, 1994.
- [12] 林建云, 陈维芬, 贺青, 等. 福建沿岸海域浒苔藻类的营养成分含量与食用安全[J]. 台湾海峡, 2011, 30(4): 570-576.
Lin JY, Chen WF, He Q, et al. Enteromorpha algae along the coastal area of fujian province [J]. J Oceanogr Taiwan Strait, 2011, 30(4): 570-576.
- [13] 孙文, 张国琛, 李秀辰, 等. 浒苔资源利用的研究进展及应用前景[J]. 水产科学, 2011, 30(9): 588-590.
Sun W, Zhang GC, Li XC, et al. Enteromorpha resource utilization research progress and application prospect of [J]. J Fish Sci, 2011, 30(9): 588-590.
- [14] Kozasa M. Toyocerin (*Bacillus toyoi*) as growth promoter for animal feeding [J]. Microbiol Aliment Nutr, 1986, 4: 121-135.
- [15] 孟凡伦, 马桂荣, 孔健. 益生菌制剂在中国对虾养殖中的应用研究[J]. 山东大学学报(自然科学版), 1998, 33(1): 101-105.
Meng FL, Ma GR, Kong J. For the application of probiotic preparations prawn breeding in China [J]. J Shandong Univ (Nat Sci Ed), 1998, 33(1): 101-105.
- [16] 林英庭, 朱风华, 徐坤, 等. 青岛海域浒苔营养成分分析与评价[J]. 饲料工业, 2009, 30(3): 46-49.
Lin YT, Zhu FH, Xu K, et al. Qingdao sea enteromorpha nutrition analysis and evaluation [J]. J Feed Ind, 2009, 30(3): 46-49.
- [17] 郝凤奇, 尹航, 李冠桥, 等. 添加海藻提取物对育肥牛蛋白质消化率的影响[J]. 饲料与畜牧, 2008(1): 44-45.

- He FQ, Yi H, Li GQ, *et al.* Add seaweed extract effect on fattening cattle protein digestibility [J]. *J Feed Anim Husb*, 2008(1): 44–45.
- [18] 刘立鹤, 董爱华, 周永奎, 等. 饲料中不同水平海带粉对凡纳滨对虾生长及饲料表观消化率的影响[J]. *广东农业科学*, 2006, 2: 72–74 .
- Liu LH, Dong AH, Zhou YK, *et al.* Kelp powder feed in different level for all achieved growth and the influence of the apparent digestibility of feed [J]. *J Guangdong Agric Sci*, 2006, 2: 72–74.
- [19] 周歧存, 赵华超. 海藻在罗氏沼虾饲料中的应用研究[J]. *饲料研究*, 2001(8): 5–6.
- Zhou QC, Zhao HC. For the application of algae in the roche spermatogenesis feed [J]. *J Feed Res*, 2001(8): 5–6.
- [20] 李志勇, 郭祀远, 李琳. 多糖在藻类富集微量元素中的作用及机理[J]. *生命的化学*, 1998, 18(1): 17–19.
- Li ZY, Guo QY, Li L. Algae polysaccharide on enrichment of trace elements in the role and mechanism of [J]. *Chem Life*, 1998, 19(1): 17–19.
- [21] 聂凌鸿, 宁正祥. 海藻糖的生物保护作用[J]. *生命的化学*, 2001, 21(3): 206–209.
- Ne LH, Ning ZX. Trehalose biological protection [J]. *Chem Life*, 2001, 21(3): 206–209.
- [22] Israe LL, LE, Lighthart B, *et al.* Tr e ha lose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying [J]. *Appl Environm Microbiol*, 1995, 61(10): 3592–3597 .
- [23] 朱新产, 王宝维, 张庭荣. 海藻多糖对肉鸡生长性能影响的研究[J]. *动物营养学报*, 2002, 14(4): 54–58 .
- Zhu XC, Wang BW, Zhang HT. Research on the effects of seaweed polysaccharides on broiler growth performance [J]. *J Anim Nutr*, 2002, 14(4): 54–58.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



王万骞, 助理兽医师, 主要研究方向为动物及动物产品兽药残留检测。
E-mail: wangwq@tjciq.gov.cn