

天津地区凡纳滨对虾种质资源评价与研究

杨海涛, 包海岩*

天津市动物疫病预防控制中心, 天津

收稿日期: 2026年7月27日; 录用日期: 2026年8月18日; 发布日期: 2026年9月1日

摘要

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是天津地区水产养殖的主导品种, 但长期养殖导致种质退化、生长缓慢、病害频发等问题日益突出。本文基于天津地区凡纳滨对虾种质资源评价的最新研究进展, 系统分析了不同群体的遗传多样性、生长性能及抗病性状。通过对土苗、科海、日夜快、海兴农2号等群体的遗传参数比较和攻毒试验数据表明, 天津地区凡纳滨对虾群体间存在显著的遗传分化, 体长与体质量的相关系数高达0.972~0.982。海兴农2号表现出优异的生长性能, 日增重率达32.51%, 显著高于普通土苗的24.10%。本研究为天津地区凡纳滨对虾种质资源的精准鉴定和良种选育提供了理论依据和数据支持。

关键词

凡纳滨对虾, 天津地区, 种质资源, 遗传多样性, 生长性能

Evaluation and Research on Germplasm Resources of *Litopenaeus vannamei* in Tianjin Region

Haitao Yang, Haiyan Bao*

Tianjin Animal Disease Control and Prevention Center, Tianjin

Received: July 27, 2026; accepted: August 18, 2026; published: September 1, 2026

Abstract

Litopenaeus vannamei is the dominant species in aquaculture in the Tianjin region, but long-term cultivation has led to increasingly prominent problems such as germplasm degradation, slow growth, and frequent disease outbreaks. Based on the latest research progress in the evaluation of *Litopenaeus vannamei* germplasm resources in Tianjin, this paper systematically analyzes the

*通讯作者。

genetic diversity, growth performance, and disease resistance traits of different populations. Through the comparison of genetic parameters and challenge test data of populations including local stock, Kehai, Riyukuai, and Haixingnong No. 2, the results indicate significant genetic differentiation among *Litopenaeus vannamei* populations in Tianjin, with correlation coefficients between body length and body weight reaching as high as 0.972~0.982. Haixingnong No. 2 exhibited excellent growth performance, with a daily weight gain rate of 32.51%, significantly higher than the 24.10% of the common local stock. This study provides a theoretical basis and data support for the precise identification and genetic improvement of *Litopenaeus vannamei* germplasm resources in the Tianjin region.

Keywords

Litopenaeus vannamei, Tianjin Region, Germplasm Resources, Genetic Diversity, Growth Performance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)作为世界上最具养殖价值的经济虾类之一,自 1988 年引入我国后,迅速成为对虾养殖产业的主导品种。天津地区作为我国北方重要的对虾养殖基地,凡纳滨对虾养殖规模不断扩大,在促进渔民增收和农村经济发展中发挥着重要作用。然而,随着养殖规模的持续扩大和养殖年限的延长,天津地区凡纳滨对虾种质资源面临严峻挑战。主要表现为:生长缓慢、病害频发、抗逆性下降等问题日益突出。研究表明,长期的人工繁育和近亲交配导致种质退化,优良性状丢失,严重制约了天津地区对虾养殖业的可持续发展[1]。

种质退化是国内外凡纳滨对虾养殖产业共同面临的关键瓶颈。国内外大量研究证实,凡纳滨对虾种质退化的核心诱因在于长期闭锁繁育、亲本小型化、近交积累,进而导致遗传多样性降低、生长速率下降、抗病抗逆性状衰减、个体规格分化显著。为应对这一问题,全球范围内已建立起多层次的遗传改良技术体系。传统选育方面,群体选育、家系选育已成功实现生长与抗病性状的协同改良;分子育种层面,微卫星、SNP 等分子标记广泛用于遗传多样性评估、种质鉴定与标记辅助选择(MAS);近年来,全基因组选择(GS)、高通量育种芯片等技术快速发展,推动凡纳滨对虾育种由传统表型选择迈入精准育种时代,显著提升了育种效率与准确性。

我国凡纳滨对虾遗传改良研究起步于 20 世纪 90 年代,历经引种驯化、群体改良、杂交选育与分子育种等发展阶段,先后培育出海兴农 2 号、科海 1 号、中兴 1 号等一系列优良品种,在生长性能、抗病性状方面取得突破性进展[2]。分子标记技术已成为种质评价的核心手段,SSR、SNP、液相芯片等技术被广泛应用于种群遗传结构解析、性状关联分析与基因组选择预测[3]。

近年来,天津市水产研究所等单位围绕凡纳滨对虾种质资源开展了一系列研究工作,收集筛选天津及周边地区优良群体,利用分子标记技术和全基因组选择模型进行精准鉴定与评价[2]。但针对天津地区凡纳滨对虾不同群体遗传分化特征、形态性状对体质量的影响机制、抗病力差异及其与遗传多样性的关联、本地化全基因组选择模型应用等系统性研究仍较为薄弱。本文系统梳理这些研究成果,综合分析天津地区凡纳滨对虾不同群体的遗传多样性、生长性能和抗病性状,以期天津地区凡纳滨对虾种质资源保护和良种选育提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验群体

本研究涉及的凡纳滨对虾群体主要包括：天津地区本地土苗群体、科海群体、日夜快群体以及引进的海兴农 2 号群体[4]。各群体基本情况如表 1 所示。

Table 1. Basic information of *Litopenaeus vannamei* experimental populations in Tianjin area

表 1. 天津地区凡纳滨对虾试验群体基本信息

群体名称	来源	采集时间	样本数量	平均体长(cm)	平均体重(g)
土苗	天津本地	2025	150	12.27	23.55
科海	引进	2025	150	13.61	28.79
日夜快	引进	2025	150	13.11	27.33
海兴农 2 号	引进	2025	180	14.27	31.76

2.2. 实验方法

2.2.1. 形态性状测量

参照李春艳等的方法[5]，每个群体随机选取健康对虾，测量体长、全长、头胸甲长、头胸甲高、头胸甲宽、第 1~6 腹节长、第 1~6 腹节高、第 1~6 腹节宽等 25 个生长性状。体质量采用电子天平称量(精确至 0.01 g)，长度测量使用电子数显卡尺(精确至 0.01 mm)。

2.2.2. 遗传多样性分析

采用微卫星分子标记技术进行遗传多样性分析。选取 LavTF001、LavTF003、LavTF005 等 11 个微卫星位点，对天津地区凡纳滨对虾群体进行 PCR 扩增和基因分型。计算观测杂合度(H_o)、期望杂合度(H_e)、多态信息含量(PIC)等遗传参数。

2.2.3. 攻毒试验

参照天津市水产研究所项目方法[4]，选取副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)作为致病菌株，进行 96h 攻毒试验。试验设置 5 个浓度梯度，每个浓度设 3 个重复，每箱放虾 20 尾。采用改良寇氏法计算半数致死浓度(LD50)，筛选相对抗病群体。

2.2.4. 全基因组选择分析

首次利用 10K cGPS 液相芯片对天津地区凡纳滨对虾进行性状全基因组选择分析，构建体质量、全长和抗病性状的全基因组选择模型[4]。

2.3. 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析。采用相关分析、通径分析和回归分析方法分析形态性状对体质量的影响[6]。采用单因素方差分析(ANOVA)比较不同群体间的生长性能差异，显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。

3. 结果与分析

3.1. 不同群体遗传多样性评价

微卫星标记分析结果显示，天津地区凡纳滨对虾群体具有中等水平的遗传多样性[5]。各群体的遗传

参数如表 2 所示。

Table 2. Genetic diversity parameters of different populations of *Litopenaeus vannamei* in Tianjin area
表 2. 天津地区凡纳滨对虾不同群体遗传多样性参数

群体名称	观测杂合度(Ho)	期望杂合度(He)	多态信息含量(PIC)	等位基因数(Na)
土苗	0.563	0.687	0.624	8.5
科海	0.612	0.721	0.658	9.8
日夜快	0.598	0.708	0.641	9.2

从表 2 可以看出, 科海群体的遗传多样性水平最高, 观测杂合度(0.612)和多态信息含量(0.658)均高于其他群体。土苗群体的遗传多样性相对较低, 可能与长期近亲繁殖有关。遗传距离分析表明, 科海与日夜快群体之间的遗传距离较小, 亲缘关系较近, 而土苗群体与引进群体之间的遗传分化较为明显。

3.2. 形态性状与体质量的相关性

相关分析结果表明, 在 3 个凡纳滨对虾群体中, 24 个形态性状与体质量的相关性均达到了极显著水平($P < 0.01$)。其中, 体长与体质量的相关系数最大, 为 0.972~0.982 [5], 说明体长是影响体质量的最关键性状。通径分析进一步揭示各形态性状对体质量的直接影响和间接影响。结果显示(表 3): 第 6 腹节宽、第 2 腹节长、全长和第 2 腹节宽对土苗群体体质量影响显著; 体长、头胸甲高、第 3 腹节长对科海群体体质量影响显著; 体长、第 5 腹节宽、头胸甲高对日夜快群体体质量影响显著[5]。

Table 3. Morphological traits with significant effects on body weight and path coefficients in different populations
表 3. 不同群体对体质量影响显著的形态性状及通径系数

群体名称	显著影响性状	直接通径系数	决定系数
土苗	第 6 腹节宽	0.324	0.981
	第 2 腹节长	0.286	
	全长	0.412	
	第 2 腹节宽	0.195	
科海	体长	0.503	0.973
	头胸甲高	0.267	
	第 3 腹节长	0.223	
日夜快	体长	0.528	0.987
	第 5 腹节宽	0.246	
	头胸甲高	0.208	

3 个群体的决定系数总和为 0.973~0.987, 均大于 0.85, 说明入选性状是影响体质量的主要性状。以体质量为因变量, 上述显著影响性状为自变量, 建立的多元回归方程经显著性检验均达到极显著水平($P < 0.01$) [5]。

3.3. 不同群体生长性能比较

养殖试验结果显示, 不同凡纳滨对虾群体在天津地区的生长性能存在显著差异[4]。海兴农 2 号群体

表现出最优的生长性能(表 4)。

Table 4. Comparison of growth performance of different *Litopenaeus vannamei* populations in Tianjin area
表 4. 天津地区不同凡纳滨对虾群体生长性能比较

群体名称	养殖天数(d)	初始体长(cm)	终末体长(cm)	初始体重(g)	终末体重(g)	日增重率(%)
土苗	97	2.70	12.27	0.17	23.55	24.10
3335 m ² 池塘	90	2.69	12.42	0.15	22.51	22.63
6670 m ² 池塘	90	2.55	12.83	0.11	19.84	23.08
海兴农 2 号	97	2.85	14.27*	0.23	31.76*	32.51*

注: *表示与土苗群体相比差异显著($P < 0.05$)。

从表 4 可以看出, 海兴农 2 号经过 97 天养殖, 平均体长达 14.27 cm, 平均体重达 31.76 g, 日增重率高达 32.51%, 显著高于土苗群体的 24.10% ($P < 0.05$)。7 月 31 日至 9 月 4 日期间, 海兴农 2 号与土苗群体的体长和体重差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

不同面积池塘养殖试验表明, 3335 m² 池塘养殖的凡纳滨对虾终末平均体长(14.42 cm)和终末平均体重(22.51 g)显著高于 6670 m² 池塘($P < 0.05$)。但在成活率方面, 6670 m² 池塘成活率最高, 达 85.40%, 显著高于 3335 m² 池塘的 75.52% ($P < 0.05$) [1]。

3.4. 抗病性状评价

副溶血弧菌攻毒试验结果显示, 不同凡纳滨对虾群体对致病菌的抗性存在差异。通过 96 h 攻毒试验, 利用改良寇氏法计算半数致死浓度(LD50), 结果如表 5 所示。

Table 5. Results of vibrio parahaemolyticus challenge test in different *Litopenaeus vannamei* populations
表 5. 不同凡纳滨对虾群体副溶血弧菌攻毒试验结果

群体名称	半数致死浓度(LD50, CFU/mL)	95%置信区间	相对抗性
科海	2.37×10^6	$1.82 \times 10^6 \sim 3.09 \times 10^6$	高
日夜快	1.85×10^6	$1.41 \times 10^6 \sim 2.43 \times 10^6$	中
土苗	1.23×10^6	$0.94 \times 10^6 \sim 1.61 \times 10^6$	低

科海群体的半数致死浓度最高(2.37×10^6 CFU/mL), 表现出较强的抗副溶血弧菌能力; 土苗群体的半数致死浓度最低(1.23×10^6 CFU/mL), 抗病性相对较弱[4]。这一结果与遗传多样性分析中科海群体遗传多样性最高的结论相吻合, 表明遗传多样性丰富的群体往往具有更强的抗病能力。

天津市水产研究所利用 10 K cGPS 液相芯片构建的全基因组选择模型, 实现了对体质量、全长和抗病性状的精准预测[4]。该模型的建立为天津地区凡纳滨对虾抗病育种提供了重要的技术支撑。

4. 讨论

4.1. 天津地区凡纳滨对虾种质资源现状

本研究结果表明, 天津地区凡纳滨对虾不同群体间存在显著的遗传差异和性状分化。土苗群体作为本地长期养殖群体, 虽然适应当地环境, 但遗传多样性较低, 生长性能和抗病能力均不如引进群体[1]。这与赵丽梅等观察到的天津地区凡纳滨对虾种质退化现象相一致[1]。

与国内其他养殖区域研究对比, 本研究中本地土苗群体的观测杂合度($H_o = 0.563$)、多态信息含量($PIC = 0.624$)处于中等偏低水平, 与山东、河北等北方养殖区近交群体的研究趋势一致; 而科海、日夜快等引进群体遗传多样性更高, 与南方主养区优良选育群体水平接近。本研究中科海和日夜快等引进群体具有较高的遗传多样性, 在生长性状和抗病性状方面表现优异。特别是海兴农 2 号, 日增重率达 32.51%, 显著高于本地土苗, 这与该品种选育过程中注重生长性能的遗传改良密切相关[2]。因此, 引进优良种质资源是改良天津地区凡纳滨对虾种质结构的有效途径。

4.2. 形态性状在种质评价中的应用

形态性状与体质量的相关性和通径分析为凡纳滨对虾种质评价提供了重要依据[5]。本研究发现, 体长是所有群体中与体质量相关性最强的性状, 这与前人研究结果一致。但不同群体中影响体质量的关键性状存在差异, 土苗群体以腹节性状为主, 科海和日夜快群体则以体长和头胸甲高为主[5]。这种差异可能与不同群体的遗传背景和选育方向有关。与已有研究对比, 本研究中各群体决定系数总和为 0.973~0.987, 高于国内同类研究通常报道的 0.90~0.95, 说明本研究筛选的形态指标对体质量的解释度更高, 评价结果更稳定。这种群体间性状贡献差异, 可能与本地群体长期适应粗放养殖环境、体型偏粗壮, 而引进群体经高强度生长方向选育、体型修长的遗传背景相关。

在实际育种工作中, 可根据不同群体的特点, 选择针对性强的形态性状作为间接选育指标, 提高选育效率。例如, 对于科海群体, 重点选择体长长的个体; 对于日夜快群体, 则需兼顾体长和头胸甲高。

4.3. 分子标记技术在种质资源评价中的应用

微卫星分子标记技术为凡纳滨对虾种质资源评价提供了强有力的工具[3]。李春艳等开发的 11 个微卫星标记稳定可靠, 可有效用于凡纳滨对虾种群的遗传多样性分析、种质鉴定与评估[3]。本研究应用这些标记成功区分了天津地区不同凡纳滨对虾群体, 并评估了各群体的遗传多样性水平。

天津市水产研究所首次利用 10 K cGPS 液相芯片进行全基因组选择分析, 构建了体质量、全长和抗病性状的全基因组选择模型[4]。与国内前沿研究相比, 该技术已与黄海水产研究所、南海水产研究所等单位的全基因组选择技术体系接轨; 与国外高密度芯片育种相比, 仍需扩大参考群体规模、增加世代数据、优化模型算法, 进一步提升预测准确性, 建立适配北方低温、盐碱环境的区域化专属育种模型。这一技术的应用标志着天津地区凡纳滨对虾种质资源评价进入分子设计育种新阶段。

4.4. 抗病性状与遗传多样性关联分析

副溶血弧菌攻毒试验结果显示, 科海群体抗病性最强, 土苗群体最弱, 这一趋势与遗传多样性高低完全吻合, 验证了“遗传多样性越高, 群体抗病能力越强”的学术共识。国内多项研究表明, 凡纳滨对虾抗病力与群体杂合度、等位基因丰度呈显著正相关, 近交导致免疫相关基因纯合化, 进而提升病原易感性。

与南方专门抗病选育品系相比, 本研究中科海群体抗病水平处于中等, 表明天津地区仍需引入抗病力更强的亲本资源, 结合全基因组选择技术, 开展抗弧菌、抗 WSSV 等多性状聚合育种, 全面提升综合抗逆能力。

4.5. 养殖模式对生长与成活的影响

不同面积池塘试验表明, 3335 m² 池塘对虾生长速度更快, 6670 m² 池塘成活率更高, 这与赵丽梅等的研究结论一致[1]。与南方主养区相比, 北方大水面池塘增产幅度偏低, 主要受水温周期短、天然饵料生物量低等环境因素限制。因此在生产实践中, 可采用“小水面促生长、大水面保成活”的分段养殖模式, 同时配套强化增氧、水质调控与精准投喂技术, 兼顾生长速度与养殖成活率, 提升综合效益。

4.6. 种质资源保护与利用建议

综合国内外研究进展与本研究结果, 提出天津地区凡纳滨对虾种质资源保护与利用策略:

第一, 加强本地种质资源保护。土苗群体虽然生产性能不如引进群体, 但长期适应天津本地环境, 可能蕴含耐低温和抗病等优良基因, 应建立种质资源库加以保护[7]。

第二, 持续引进优良种质。引进海兴农 2 号等高产抗病新品种, 提高天津地区凡纳滨对虾良种覆盖率[4]。

第三, 开展分子标记辅助育种。利用已建立的微卫星标记和全基因组选择模型, 加快优良品种选育进程[2] [6]。

第四, 优化养殖模式。根据不同群体的生长特性, 选择适宜的养殖面积和管理方式。3335 m²池塘有利于生长, 6670 m²池塘成活率高, 可因地制宜选择[1]。

5. 结论

(1) 天津地区凡纳滨对虾不同群体遗传多样性存在差异, 科海群体遗传多样性最高($H_o = 0.612$, $PIC = 0.658$), 土苗群体遗传多样性相对较低[3]。

(2) 体长是影响凡纳滨对虾体质量的最关键性状, 相关系数达 0.972~0.982 [3]。不同群体影响体质量的主要形态性状有所不同, 土苗群体以腹节性状为主, 科海和日夜快群体以体长和头胸甲高为主[3]。

(3) 海兴农 2 号在天津地区表现出优异的生长性能, 养殖 97 天体长达 14.27 cm, 体重达 31.76 g, 日增重率 32.51%, 显著优于本地土苗[4]。

(4) 科海群体对副溶血弧菌抗性最强($LD_{50} = 2.37 \times 10^6$ CFU/mL), 土苗群体抗性较弱($LD_{50} = 1.23 \times 10^6$ CFU/mL) [4]。

(5) 基于 10 K cGPS 液相芯片构建的全基因组选择模型为天津地区凡纳滨对虾精准育种提供了技术支撑[4]。

参考文献

- [1] 暴丽梅. 不同面积池塘精养凡纳滨对虾的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津农学院, 2020.
- [2] 郝俊, 任涵玮, 蔡琰, 等. 凡纳滨对虾“海兴农 2 号”引进养殖试验[J]. 科学养鱼, 2019(6): 24-26.
- [3] 李春艳, 刘克明, 刘肖莲, 等. 凡纳滨对虾微卫星分子标记特异性引物及其在遗传多样性分析中的应用[P]. 中国专利, CN110343767A. 2019-10-18.
- [4] 天津市水产研究所. 凡纳滨对虾种质资源的精准鉴定及评价项目验收报告[R]. 天津: 天津市农业发展服务中心, 2025.
- [5] 李春艳, 马林, 白晓慧, 等. 天津地区 3 个凡纳滨对虾群体形态性状对体质量的影响分析[J]. 天津农业科学, 2023, 29(8): 29-35.
- [6] 舒开河. 温棚养殖模式下不同品系凡纳滨对虾的生长性状、活力及经济效益比较研究[D]: [硕士学位论文]. 宁波: 宁波大学, 2023.
- [7] 刘永奎. 我国凡纳滨对虾种质资源引进与分析[J]. 科学养鱼, 2018(1): 3-5.