

金花茶组优质种质资源杂交育种研究

洪永辉¹, 林能庆², 陈天增³

(1. 福建省龙岩市林业种苗站, 福建龙岩 364000; 2. 福建省上杭白砂国有林场, 福建上杭 364205; 3. 福建世纪金花有限公司, 福建上杭 364206)

摘要 选择天然营养成分和微量成分高且花量大、花多的防城金花茶(A)、凹脉金花茶(B)和越南红顶凹脉金花茶(D)3个品种的优树为杂交亲本, 开展杂交亲和性和杂交生长研究。结果表明: 杂交授粉64个, 获得杂交果15个, 结果率为23.4%。获种子37个, 培育杂交苗15株, 经1年培育, 苗高均值为16.9 cm、地径为0.19 cm。目前杂交苗正常培育, 其生长变异有待进一步观察, 通过杂交, 获得优质金花茶新品种是可行的。

关键词 金花茶; 优树; 杂交育种

中图分类号 S685.14 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)21-0119-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.21.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Cross Breeding of High Quality Germplasm Resources in Section *Chrysantha* Chang

HONG Yong-hui¹, LIN Neng-qing², CHEN Tian-zeng³ (1. Longyan Forestry Seedling Station, Longyan, Fujian 364000; 2. Baisha State-owned Forest Farm, Shanghang, Fujian 364205; 3. Fujian Century Jinhua Technology Co., Ltd., Shanghang, Fujian 364206)

Abstract Three varieties of *Camellia nitidissima* (A), *C. impressinervis* (B) and *C. impressinervis* (D) were selected as hybrid parents to carry out cross-compatibility and hybrid growth studies. The results showed that 64 cross pollination and 15 cross fruits were obtained, and the fruiting rate was 23.4%. Thirty-seven seeds were obtained, and 15 hybrid seedlings were cultivated. After one year of cultivation, the average seedling height was 16.9 cm, and the ground diameter was 0.19 cm. At present, the hybrid seedlings are normally cultivated, and their growth variation needs to be further observed. It is feasible to obtain new varieties of high quality *C. nitidissima* through hybridization.

Key words *Camellia nitidissima*; Superior tree; Cross breeding

金花茶(*Camellia nitidissima* Chi)是山茶科(Theaceae)山茶属常绿灌木或小乔木,是具有观赏、医疗保健、文化潜在价值的珍稀植物,也是21世纪名贵的保健佳品,素有“植物界的大熊猫”“茶族皇后”美誉^[1-3],也是国家新资源食品和国家重点发展林药植物^[4-5],主要分布在我国广西南部亚热带季风气候区和越南北部热带季风区,其气候显著差异,形成金花茶组有42种和5个变种,属分布极为狭窄的植物种群,但两区温度和湿度不同是影响金花茶生长的关键因素^[6],形成金花茶各品种黄酮、多酚、多糖、皂苷、微量元素、氨基酸和纤维脂等含量和花、叶等形状的差异^[6-11]。这为丰富金花茶种质资源、育种原始材料收集和杂交育种奠定了基础。杂交育种是培育金花茶新品种的重要途径,20世纪70年代以来,国内外学者围绕丰富色彩、香味、花期、抗逆性、花型和适宜的株型,开展了金花茶远缘杂交研究,培育了“新黄”“冬月”“黄达”“黄绣球”等杂交新品种,丰富了山茶科品种^[12-19]。

福建从20世纪80年代开始开展金花茶研究^[20],进入21世纪,福建龙岩先后主持承担省种苗花卉攻关课题和第三轮种业创新项目,在金花茶繁育、林下推广种植、种质资源收集、药理、杂交育种等研发方面取得关键性的突破和探索^[5,8,21-23]。收集保存金花茶组33个品种。课题组通过多年的观察,分别采用层次分析法和综合评分法开展种源评价和

品种选择^[21-22],建立了无性系快繁基地^[23]。与此同时,开展了金花茶优良单株选择和种质资源库营建,以期金花茶遗传育种和育种群体建设提供物质基础,并探讨了金花茶杂交育种试验,旨在培育品种优质、树型紧凑、生长旺盛、花期长、花色艳丽、观赏价值高、高产稳产的金花茶。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地设在福建省上杭县庐丰乡金花茶种质资源基因库温室基地(116°50'E, 24°54'N),海拔240 m,属中亚热带季风气候,年均气温19.5℃,最热月7月平均气温24.0~28.0℃,极端最高气温39.7℃;最冷月1月平均气温7.0~10.6℃,极端最低气温-5.0℃。年均降水量1894 mm,年均相对湿度77%,年无霜期293 d,年均日照时数1971 h。土壤为农田旱地,肥力中等。

1.2 材料 该基因库共收集保存山茶属金花茶组(Section *Chrysantha* Chang)的防城金花茶(*C. nitidissima*)、凹脉金花茶(*C. impressinervis*)、越南红顶凹脉金花茶(*C. impressinervis*)、毛瓣金花茶(*C. pubipetala*)、陇瑞金花茶(*C. longruiensis*)等21个品种,每个品种保存有21~33株。杂交亲本分别选择防城金花茶、凹脉金花茶、越南红顶凹脉金花茶3个品种12株多年生母树。

1.3 方法 金花茶具有“抱子怀胎”的习性,从开花到果实成熟需要近1年的时间,受气候等客观因素的影响,金花茶坐果率低,其组内杂交坐果率仅在35%以下^[17]。金花茶杂交试验选择在塑料温室大棚内进行。

1.3.1 人工授粉花蕾选择及方法。 金花茶花朵主要着生在1年生枝条,且多为1~2个呈腋生或顶生花枝上。2017—2018年连续2年选取树冠外围,无病虫害、发育健壮枝条,每枝选择1朵花径>5 cm以上尚未开张且较为松软花蕾作为

基金项目 福建省第三轮种业创新项目(ZYCX-LY-2017006);福建省林业局林业科研项目(闽林科便函[2019]39号);福建省花卉苗木品种引进与研发创新项目(H2014021);福建省林业科技推广项目(20187G03);龙岩市科技局科技重点项目(2019LYF9010)。

作者简介 洪永辉(1963—),男,福建龙岩人,教授级高级工程师,从事林木、花卉遗传育种、森林培育研究。

收稿日期 2020-03-22

杂交母本,授粉前用镊子拨开花瓣去雄,即将花蕾中靠近柱头的花药连花丝一起剪掉,去雄后立即套袋,挂上标签。然后在已开花的金花茶中采集花粉或取贮存的花粉,用干净药用棉签沾取花粉涂在母本雌蕊的柱头上,重复2~3次,直至肉眼看到柱头上沾有金黄色花粉。接着用透明硫酸纸袋套好,并写好标签牌,当花瓣萎谢柱头变黑色后,去除套袋。对未授粉的花蕾全部摘除,防止重复授粉和减少营养消耗。定点观察,统计坐果率,加强母本植株的管理,待10月球果成熟开裂后,分批收取果实,用沙藏处理种子后集中播种育苗。

1.3.2 苗木培育及种质资源调查统计方法。苗木培育选择在塑料容器内。将杂交种子直接播在红心土+泥炭土+椰糠(1:1:1)的混合基质上,覆盖1 cm红土,用薄膜保湿、保温,等苗木出土后常规水、肥管理。全面调查金花茶种质资源和苗木的树(苗)高、地径和冠幅,评价杂交成效及坐果率、杂交组合种子发芽率等,采用Excel进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 杂交父、母本的选择 选择防城金花茶(A)、凹脉金花茶(B)和越南红顶凹脉金花茶(D)3个品种为杂交亲本,其优树要求应具有育种目标性状,且主要性能互补,抗逆性强(表1)。通过杂交实现改良植物亲本品质,培育花、叶大小均衡,花多且观赏价值高的植株实现天然营养有效成分和微量元素成分提高的目标。金花茶组属两性花,不同品种其开花物候差异性明显,与日照、气温及温室大棚局部微环境有关。生长在温室的3种金花茶比野外花期提早了1个月,多在12月至次年3月,不同单株花期不一,其单株各个花蕾逐渐开放,盛花期、单花开放持续时间不同。单花开放历经花蕾迅速膨大期到花谢期。若遇高温季节单花开放期将缩

短1~2 d,遇阴雨天气延长1~2 d。杂交育种应选性状优良、花期一致亲本,对花期不一的亲本应通过收集和保存花粉后,待最佳时间授粉。通过有性杂交使子代能够遗传其双亲优良性状,使之产生遗传变异,从而表现出新的优良性状。

防城金花茶:叶较短,叶有披针形、卵状长椭圆形或长椭圆形,先端钝尖,基部宽楔形或近圆形。叶面蜡质感极强,嫩芽呈紫色或淡紫色。花金黄色,1~2朵腋生或近顶生,花径3.5~6.5 cm,花梗稍下垂;花朵有花瓣7~10片,多达13~14片,花瓣油润厚实,质感如玉,有蜡质光泽;其各单株花期约36 d,盛花期持续时间为21 d以上,单花开放持续时间约5 d,修剪后树姿较美观。各优树有大叶、中叶、小叶之分。其药食化学成分黄酮、多酚、多糖等有效成分含量较高,仅皂苷含量较低^[21]。

凹脉金花茶:叶长面宽,具绒毛,酷似枇杷叶,叶革质,椭圆形,嫩枝有短粗毛,嫩芽紫色。花淡黄色稀疏,花朵较小,约3.8 cm,蜡质感不强,花朵有花瓣9~12片,花瓣较薄,倒卵形,花苞红色鲜艳,其各单株花期约30 d,盛花期持续时间为12 d以上,单花持续开放时间约6 d,树姿不够美观。其药食化学成分黄酮、多酚、皂苷等有效成分含量在3个品种中排名第一^[21]。

越南红顶凹脉金花茶:形态同凹脉金花茶,主要不同是叶椭圆形或长椭圆形,蜡质感不强,嫩芽呈紫色或淡紫色。花苞有红色斑块很鲜艳,花大,花径3.8~8.0 cm,花淡金黄但蜡质感不强,花期12月至次年3月,树姿较美观。其药食化学成分黄酮、多酚、皂苷、多糖有效成分含量较低,在3个品种中排名最后^[21]。

上述优树经多年观察其性状优良、稳定,且独特性较强(表1)。

表1 金花茶组父母本植物各性状均值综合指标

Table 1 Comprehensive index of the mean of parent plant characters in Section *Chrysantha* Chang

序号 No.	品种 Varieties	树龄 Tree age a	树高 Tree height m	地径 Ground diameter cm	冠幅 Crown width m	花色 Flower color	花径 Flower diameter cm	花量 Flower amount 朵
A1	防城金花茶	多年	1.7	9.4	1.5	金黄色	3.5~6.5	>600
A2	防城金花茶	多年	1.7	8.9	1.5	金黄色	3.5~6.5	>600
A3	防城金花茶	8	1.4	4.9	1.3	金黄色	3.5~6.5	>400
A4	防城金花茶	10	1.5	6.9	1.3	金黄色	3.5~6.5	>500
A5	防城金花茶	多年	2.3	10.2	1.6	金黄色	3.5~6.5	>600
A7	防城金花茶	8	1.6	4.7	1.4	金黄色	3.5~6.5	>400
A10	防城金花茶	9	1.7	5.0	1.2	金黄色	3.5~6.5	>450
B2	凹脉金花茶	多年	2.1	5.0	1.7	淡黄色	3.8~5.0	>450
B5	凹脉金花茶	多年	2.4	6.0	2.1	淡黄色	3.8~5.0	>450
B6	凹脉金花茶	多年	2.1	6.3	2.2	淡黄色	3.8~5.0	>450
B13	凹脉金花茶	8	2.0	4.2	1.2	淡黄色	3.8~5.0	>450
D10	越南红顶凹脉金花茶	8	1.5	4.9	1.3	淡黄色	3.8~8.0	>400
D13	越南红顶凹脉金花茶	8	1.7	4.9	1.3	淡黄色	3.8~8.0	>400
D15	越南红顶凹脉金花茶	10	1.7	6.7	1.6	淡黄色	3.8~8.0	>400

2.2 金花茶杂交组合的效果与评价 杂交亲和性分析:各杂交组合涉及15个优树,其中防城金花茶8株、凹脉金花茶4株、越南红顶凹脉金花茶3株。杂交组合涉及17个,共套

袋授粉64个,授粉后子房膨大数35个,获得杂交果15个,结果为23.4%。

2.2.1 防城金花茶与不同种源凹脉金花茶组植物单株杂交

亲和性。分析可知(表 2),正交选择 6 株不同防城金花茶植株为母本、与凹脉金花茶为父本开展的杂交授粉,共套袋授粉 12 次,子房膨大数 10 个,获杂交果 6 个,结果率为 50%。反交选择 3 株不同凹脉金花茶植株为母本、与防城金花茶为父本开展的杂交授粉,共套袋授粉 19 次,子房膨大数 8 个,获杂交果 4 个,结果率为 21.1%。表明 2 个品种亲和力和

高。选择 3 株不同防城金花茶为母本、与越南红顶凹脉金花茶为父本开展的正交套袋杂交授粉 13 次,子房膨大数 6 个,获杂交果 2 个,结果率为 15.4%。同时选择 4 株不同红顶凹脉金花茶反交防城金花茶套袋授粉 16 次,其子房膨大数 8 个,但出现败育或落果,未获杂交果。表明 2 个品种亲和力和低于凹脉金花茶。

表 2 不同杂交组合结实情况

Table 2 Seed setting of different hybrid combinations

杂交组合号 Hybrid combination No.	杂交组合 Hybrid combination		授粉数 Pollination number 朵/个	子房膨大数 Ovary swelling number	结果数 Fruit number	结果率 Fruiting rate %	种子总数 Total seeds number
	母本 Female parent	父本 Male parent					
Z1	A1	B2	1	1	0	0	0
Z2	A5	B6	1	1	0	0	0
Z3	A7	B5	1	0	0	0	0
Z4	A7	B6	3	2	1	33.3	4
Z5	A10	B6	4	4	3	75.0	6
Z6	A10	B15	2	2	2	100.0	5
H1	A3	D13	4	2	1	25.0	1
H2	A4	D13	3	1	1	33.3	1
H3	A6	D15	6	3	0	0	—
Y1	B2	A3	6	3	0	0	—
Y2	B6	A10	10	3	2	20.0	2
Y3	B13	A03	3	2	2	66.7	4
X1	D2	A3	1	0	0	0	—
X2	D6	A10	6	3	0	0	—
X3	D10	A4	3	2	0	0	—
X4	D13	A3	6	3	0	0	—
X5	D15	B6	4	3	3	75.0	14
合计 Total			64	35	15	23.4	37

2.2.2 不同种源凹脉金花茶组植物单株杂交亲和性。分析可知,不同种源凹脉金花茶亲和力和较高,以红顶凹脉金花茶为母本,广西种源凹脉金花茶为父本,杂交授粉 4 次,子房膨大数 3 个,获得杂交果 3 个,坐果率为 75.0%。其中一个果实产籽达 9 粒。毛瓣金花茶、陇瑞金花茶、显脉金花茶等品种同上述 3 个品种相比花期较早,而凹脉金花茶检测表明药食有效化学成分含量较高,为此采集所有毛瓣等品种金花茶部分花粉作为父本与凹脉金花茶杂交,但子房均无膨大发育,其可能是花粉保管不好,生活力不高等造成。因授粉期可供选择的花径>5 cm 凹脉金花茶松软花蕾较少,故与红顶凹脉金花茶反交未开展。

2.3 一年生杂交金花茶播种苗生长性状 将所采回的果实置于室内通风处,待果皮开裂后,剥取种子,用含水率 5%粗砂进行保管和催芽,2019 年 3 月 8 日将采集的 37 粒种子直接播种在用泥炭土和椰糠配制的营养袋中,外用 0.5 m 高竹

子搭盖塑料薄膜进行保温保湿,2 个月后芽苗露出基质 3~4 cm,其发芽率为 43.2%。之后展开真叶,开始生长。2020 年 3 月初调查表明,以 15 株不同组合杂交苗作为统计单元,分析可知(表 3),1 年生苗木生长差异显著,杂交苗地径均值 0.19 cm,最大值 0.40 cm,最小值 0.15 cm,标准差 0.062,变异系数 32.2%;其苗高均值 16.9 cm,最大值 30 cm,最小值 8 cm,标准差 7.073,变异系数 41.8%。研究表明金花茶腋芽均萌发于枝叶中,为一叶一芽。叶量越多表明新芽萌发能力越强。而杂交苗平均叶量为 5.8 叶,最大叶量为 9 叶,最小叶量为 3 叶,标准差 2.007,变异系数 34.6%。统计表明不同组合其苗木差异显著,生长最优的是防城与越南红顶凹脉金花茶杂交组合(H)。其中生长最优的杂交优良单株(H1),其地径 0.40 cm、苗高 30 cm。同时各杂交组合的叶型也出现了不同变化,如 X5 叶型均比不同种源亲本凹脉金花茶增大,且叶量增多,初步实现提高叶产量目标。

表 3 一年生杂交播种苗木生长性状

Table 3 Growth characteristics of annual hybrid seedlings

杂交组合 Hybrid combination	母本 ♀ Female parent	父本 ♂ Male parent	苗木数 Number of seedlings	地径 Ground diameter cm	苗高 Seedling height cm	叶片数 Number of blades
H 类 Class H	A	D	2	0.30	25.0	8.5
Z 类 Class Z	A	B	5	0.16	16.0	5.2
Y 类 Class Y	D	A	1	0.15	14.0	6.0
X 类 Class X	D	B	7	0.19	15.7	5.4
合计/均值 Total / average			15	0.19	16.9	5.8

3 结论与讨论

试验结果显示,杂交组合涉及15个优树,其中防城金花茶8株、凹脉金花茶4株、越南红顶凹脉金花茶3株。杂交组合涉及17个,共套袋授粉64个,授粉后子房膨大数35个,获得杂交果15个,结果为23.4%。表明金花茶各杂交组合的亲合力差异较大,其中杂交组合成功率最高的是防城金花茶与凹脉金花茶,其正反交均获得果实,表明亲本性较高。从药食有效化学成分来看,不同品种金花茶花、叶、果中黄酮类、多糖类、皂苷类、茶多酚、挥发油等生物活性物质含量不同,选择不同种源金花茶优树进行组间、组内杂交,能否提高有效成分含量有待进一步研究。

研究表明金花茶自交,虽能促进子房膨大,但不发育,会形成落果或败育。因此金花茶自然坐果率仅1%。金花茶花蕾主要着生在当年或2年生枝条,其花蕾是逐渐发育开放,为确保杂交成功率,减少杂交套袋的难度,杂交时应选当年新萌生的枝条中顶生适宜花蕾进行,对着生在同枝条中的中、下部花蕾均需摘除,从而影响了杂交数量。从完成的杂交组合来看,其子房膨大率54.7%,坐果率仅23.4%。有9个组合无结果,分析可知,影响坐果率的因子较多,如父母本花粉亲和力、所采集父本雄花活力低,去雄时不小心伤到母本子房柱头,或授粉后受极端气温等多因素影响,造成落果及败育^[13-18]。随着福建第三轮种业创新和产业化工程的全面实施,福建世纪金花科技有限公司已建立金花茶种质资源库,拥有3000多株多年生防城、凹脉、越南红顶凹脉、毛瓣和显脉金花茶等育种群体,成为福建最大的金花茶生产研发基地,只有每年坚持不断地开展选优杂交,才能逐步提高杂交成功率。

金花茶组为常绿木本植物,生长缓慢,从播种到开花结实需5~6年,其杂交组合能否达到预期变异、产生新种,还需长期观察,等到杂交组合开花结果,才能判断出杂交成效。开展金花茶杂交育种是一项漫长的工作,需不断杂交,才能不断育出新品种。

参考文献

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书——稀有濒危植物:第1册[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [2] 梁盛业,陆敏珠,黄晓娜. 中国金花茶图谱[M]. 北京:中国林业出版社,2012.
- [3] 黄开勇,黄应钦,李娟. 广西林下主要经济植物栽培[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2013.
- [4] 中华人民共和国卫生部公告2010年第9号[J]. 中国食品卫生杂志,2010,22(4):380.
- [5] 洪永辉,曾毓,陈天增,等. 珍稀濒危植物金花茶在福建适应性及开发利用探讨[J]. 林业勘察设计,2016,36(3):18-24.
- [6] 伍思宇,梁晓静,韦晓娟,等. 中国金花茶与越南金花茶叶表型差异性分析[J]. 广西林业科学,2019,48(3):336-341.
- [7] 黄兴贤,邹容,胡兴华,等. 十四种金花茶组植物叶总黄酮含量比较[J]. 广西植物,2011,31(2):281-284.
- [8] 牛广俊. 不同类型金花茶叶品质评价及其相关药效学研究[D]. 福州:福建中医药大学,2016.
- [9] 唐前,罗燕英,黄连冬,等. 金花茶组植物化学成分的定量分析[J]. 时珍国医国药,2009,20(4):769-771.
- [10] 唐健民,史艳财,廖玉琼,等. 金花茶茶花的营养成分分析[J]. 广西植物,2017,37(9):1176-1181.
- [11] 刘云,付聆,张颖君,等. 金花茶组植物的化学成分及保健功效研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(3):321-326,332.
- [12] 李桂娥,蒋昌杰,李志辉,等. 南宁市金花茶公园茶花引种保护与研究进展概况[J]. 现代园艺,2015(8):130-131.
- [13] 黄连冬,莫树业. 金花茶杂交新种初报[J]. 中国园林,1998,14(1):49-51.
- [14] 赵世伟,程金水,陈俊愉. 金花茶和山茶花的种间杂种[J]. 北京林业大学学报,1998,20(2):44-47.
- [15] 汤忠皓,黄连冬. 金花茶杂交育种初报[J]. 北京林业大学学报,1987,9(4):374-379.
- [16] 程金水,陈俊愉,赵世伟,等. 金花茶杂交育种研究[J]. 北京林业大学学报,1994,16(4):55-59.
- [17] 陈俊愉. 金花茶育种十四年[J]. 北京林业大学学报,1987,9(3):315-320.
- [18] 陶源,邓朝佐. 毛瓣金花茶与宛田红花油茶杂交育种成果初报[J]. 北京林业大学学报,1994,16(3):112-114.
- [19] SHINSAKU NADAMITSU, YOSHIKI ANDOH, KATSUHIKO KONDO, 等. 越南山茶×金花茶杂交种的子叶培养[J]. 广西林业科技,1991,20(4):220-221.
- [20] 吴洪明. 福建金花茶组植物种质资源研究与评价[D]. 福州:福建农林大学,2004.
- [21] 洪永辉,陈天增,王如均,等. 金花茶组植物品种选择与评价[J]. 林业勘察设计,2018,38(2):1-7.
- [22] 洪永辉,樊仲书,陈天增,等. 防城金花茶优良个体组培快繁体系研究[J]. 林业勘察设计,2016,36(1):8-10.
- [23] 洪永辉,陈天增,方伟,等. 金花茶优树采穗圃营建技术研究[J]. 林业勘察设计,2018,38(4):5-8.
- [24] 王俊. 渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究[J]. 海洋水产研究,2003,24(4):44-50.
- [25] 李启蒙. 山东省贝类弧菌流行病学调查、药敏试验及毒力基因检测[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [26] 王斌,王翔,王莉明. 我国主要养殖贝类微生物性病害研究进展[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):76-80.
- [27] 陈济丰,郭超,魏亚南,等. 海参养殖池塘异养菌与弧菌数量变化特征分析[J]. 现代农业科技,2018(3):230-231.
- [28] 夏斌,张晓晓,崔毅,等. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价[J]. 渔业科学进展,2009,30(3):103-111.
- [29] 张高遥,刘金,程龙全,等. 芡河湖水体水质保护保护区水环境质量评价[J]. 喀什大学学报,2019,40(3):49-53.
- [30] 李斌,衣秋蔚,邓雪. 2017年夏季莱州湾及其邻近海区水质分析与评价[J]. 海岸工程,2018,37(4):44-52.

(上接第79页)

- [14] 李岍. 经济贝类对低氧耐受性的研究[D]. 青岛:中国科学院大学(中国科学院海洋研究所),2019.
- [15] 赵广拓,刘云鹏,张秀文,等. 昌黎县海湾扇贝养殖海域水质调查与评价[J]. 河北渔业,2019(2):35-41.
- [16] 国家海洋局第三研究所. 海水水质标准:GB 3097—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [17] 李斌,白艳艳,邢红艳,等. 四十里湾营养状况与浮游植物生态特征[J]. 生态学报,2013,33(1):260-266.
- [18] 袁洪梅,杨长奎,杨风,等. 总氮态氮对海湾扇贝幼体存活和生长的影响[J]. 大连海洋大学学报,2017,32(3):268-274.
- [19] 李佳. 水产养殖中亚硝酸盐的来源、危害及防治[J]. 河北渔业,2015(10):81-82.