

盐度、pH 和温度对金钱鱼幼鱼存活的影响

杨世平, 杨丽专, 陈兆明, 孙成波* (广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088)

摘要 [目的] 研究盐度、pH 和温度对金钱鱼幼鱼存活的影响, 为金钱鱼的养殖提供科学依据。[方法] 采取突变试验研究了盐度、pH 和温度对金钱鱼幼鱼存活的影响。[结果] 金钱鱼幼鱼耐受盐度范围为 0~50‰, 最高起始致死盐度为 54‰。耐受 pH 范围为 5.0~9.7, 最高和最低起始致死 pH 分别为 9.9 和 4.4。耐受温度范围为 16~39℃, 最高和最低起始致死温度范围为 40 和 15℃。[结论] 金钱鱼幼鱼耐酸能力和耐低盐能力较高, 对低温的耐受力较弱, 适合在中国南方养殖。

关键词 金钱鱼; 盐度; pH; 温度; 耐受性

中图分类号 S965 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09386-04

Effects of Abrupt Changes in Salinity, pH and Temperature on Survival of Juvenile *Scatophagus argus*

YANG Shi-ping, YANG Li-zhuan, CHEN Zhao-ming, SUN Cheng-bo* (Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract [Objective] Tolerance of Juvenile *Scatophagus argus* to the changes of salinity, pH and temperature was studied, in order to provide scientific reference for the culture of *S. argus*. [Method] Influences of changes in salinity, pH and temperature on the survival and ingestion of juvenile *S. argus* were investigated by performing experiments of abrupt and gradient salinity changing. [Result] The results showed that the tolerance salinity range was about 0~50‰. The upper incipient lethal salinity was 54‰. The tolerance pH range was about 5.0~9.7. The upper and the lowest incipient lethal pH was 9.9 and 4.4, respectively. The tolerance temperature range was about 16~39℃. The upper and the lowest incipient lethal temperature was 40℃ and 15℃, respectively. [Conclusion] The results showed that the juvenile *S. argus* with a small scale in temperate zones are able to tolerant acid condition and low salinity, which are suitable for cultivation in the south of China.

Key words *Scatophagus argus*; Salinity; pH; Temperature; Tolerance

金钱鱼(*Scatophagus argus* Linnaeus)又名金鼓鱼, 隶属鲈形目、鲈亚目、金钱鱼科(Scatophagidae)、金钱鱼属(*Scatophagus*)。金钱鱼成鱼体长约 30 cm, 原产于印度尼西亚、菲律宾、泰国等地的江河入海口的咸淡水交融水域, 在我国南方江河的入海口也常见。金钱鱼肉味鲜美, 外观漂亮, 可肉食, 可观赏, 经济价值高, 可单养也可混养^[1]。金钱鱼为杂食性鱼类, 喜吃藻类、有机碎屑、节肢动物和小型鱼类等鲜活饵料^[2-4]。金钱鱼属于河口性鱼类, 可以在淡水中养殖, 对盐度的耐受力较强。20‰盐度下的金钱鱼幼鱼鳃丝和鳃小片上泌氯细胞数量较淡水组中多, 胞体也显著膨大, 集中分布在鳃小片基部, 说明金钱鱼鳃的结构能够适应外界水体中盐度的变化^[5-6]。同时, 它的肾脏组织也会发生相应的变化, 在高盐度(10‰、20‰或30‰)环境中的金钱鱼的肾脏的收集小管和肾小球的密度会明显低于在淡水和低盐度环境时^[7]。宋郁等^[8]研究了金钱鱼幼鱼在 11~25℃ 温度的耐受力, 发现其低温半致死温度(LT_{50})为 12.2℃, 低温致死温度为 11.0℃。国内已开展了金钱鱼的养殖技术研究工作^[1, 9]。因此, 研究金钱鱼幼鱼的适宜生长环境具有重要意义。温度、盐度和 pH 是影响海水鱼类生存、生长的重要环境因子, 也是海水鱼类种苗培育所需的 3 个关键因子。不同鱼类对以上环境因子的适应范围有较大差异。笔者探讨了盐度、pH 和温度突变对金钱鱼幼鱼存活的影响, 探索金钱鱼早期发育阶段生存的最适条件, 旨在丰富金钱鱼早期发育阶段的生物学基础资料, 并为生产实践提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 金钱鱼打捞于北海附近海域, 然后放养于池塘暂养 2 周, 再取回实验室暂养 1 周。选取大小均匀、体格健壮的鱼苗用于试验。试验金钱鱼平均体长(20.00 ± 2.30) mm, 体质量(0.50 ± 0.17) g, 试验用海水盐度为 30‰, pH 8.0, 氨氮含量小于 0.1 mg/L, 溶氧含量大于 5 mg/L。

1.2 试验方法

1.2.1 盐度突变试验。用天然海水调各个梯度盐度, 设置盐度梯度 0、5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰、35‰、40‰、45‰、50‰, 每个梯度设置 2 个平行组, 共 22 组, 每组 4 尾金钱鱼。养殖 96 h 后, 计算存活率。

根据以前的试验结果, 将金钱鱼幼鱼放入盐度为 40‰ 的水体中养殖 48 h 后, 再将金钱鱼幼鱼突变至更高盐度的海水中, 盐度梯度为 40‰、42‰、44‰、46‰、48‰、50‰、52‰、54‰、56‰、58‰、60‰, 再养殖 48 h 后计算存活率。每天投饵 6 次, 投饵量视暂养时 4 尾鱼 15 min 内食完的量为准, 及时清除残饵粪便。每天换水 1 次, 换水量为 100%, 试验过程维持盐度不变。以能摄食和不出现死亡的盐度范围为耐受盐度范围。

1.2.2 pH 值突变试验。pH 梯度设置 6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5 和 10.0。暂养时水体 pH 为 8.0。用低浓度 HCl 和 NaOH 调配至相应 pH 水平, 每个梯度 2 个平行组, 共 18 组, 每组 4 尾鱼。试验 96 h 后计算存活率。

根据以前的试验结果, 将金钱鱼幼鱼分别放于 pH 为 6.0 和 9.5 水体水体养殖 48 h 后, 再将金钱鱼幼鱼突变至更低或更高 pH 的海水中。二次突变时, 将暂养于 pH 6.0 水体的金钱鱼幼鱼投放到 pH 4.0~6.0 各试验组, 另将暂养于 pH 9.5 水体的金钱鱼幼鱼投放到 pH 9.5~9.9 各试验组。设置 pH 梯度 4.0、4.2、4.4、4.6、4.8、5.0、5.2、5.4、5.6、5.8、9.7、9.9,

基金项目 科技部星火计划重点项目(2010GA800008)。

作者简介 杨世平(1977-), 男, 重庆人, 高级工程师, 博士, 从事虾蟹类健康养殖与水产微生物学研究。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事对虾养殖和病害防治研究和教学工作。

收稿日期 2014-08-18

并设置 2 个平行组。养殖管理同盐度试验。以能摄食和不出现死亡的 pH 范围为耐受 pH 范围。

1.2.3 温度突变试验。设置温度梯度 10、15、20、25、30、35、40 ℃, 设 30 ℃ 为对照组。用 30 L 有盖泡沫箱进行试验。设置 2 个平行组, 每组 4 尾鱼。养殖 96 h 后, 计算其存活率。

根据以前的试验结果, 将金钱鱼幼鱼分别放于 20、35 ℃ 水体养殖 48 h 后, 再将金钱鱼幼鱼突变至更低或更高温度的海水中。二次突变时, 将养殖于 20 ℃ 的金钱鱼幼鱼投放到 14~20 ℃ 各试验组, 另将养殖于 35 ℃ 的金钱鱼幼鱼投放到 35~41 ℃ 各试验组。共设置 6 个温度梯度 14、16、18、37、39、41 ℃, 并设置 2 个平行组。养殖管理同盐度试验。以能摄食和不出现死亡的温度范围为耐受温度范围。

2 结果与分析

2.1 盐度突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响 由表 1 可知, 金钱鱼从盐度为 30‰ 突变至盐度为 0~40‰ 的海水中, 其 96 h 存活率均为 100%。这说明金钱鱼对盐度的耐受范围较广。当盐度为 45‰ 和 50‰ 时金钱鱼幼鱼 96 h 全部死亡, 说明金钱鱼幼鱼不能耐受过高的盐度。

表 1 盐度突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	盐度	时间 h	试验鱼数	存活鱼数	存活率 %
			尾	尾	
1	0	96	8	8	100
2	5	96	8	8	100
3	10	96	8	8	100
4	15	96	8	8	100
5	20	96	8	8	100
6	25	96	8	8	100
7	30	96	8	8	100
8	35	96	8	8	100
9	40	96	8	8	100
10	45	96	8	0	0
11	50	96	8	0	0

表 2 盐度二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	盐度	时间 h	试验鱼数	存活鱼数	存活率 %
			尾	尾	
1	42	48	8	8	100
2	44	48	8	8	100
3	46	48	8	8	100
4	48	48	8	8	100
5	50	48	8	8	100
6	52	48	8	8	100
7	54	48	8	8	100
8	56	48	8	4	50
9	58	48	8	5	63
10	60	48	8	0	0

2.2 盐度二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响 根据第 1 次盐度突变的结果, 将金钱鱼幼鱼的养殖的盐度突变至 40‰, 48 h 后再突变至更高盐度养殖海水中, 测定其不同盐度下幼鱼的存活率。由表 2 可知, 盐度从 42‰ 到 54‰ 均能全部存活, 而当盐度高于 56‰ 时, 金钱鱼幼鱼出现了死亡; 当盐

度为 56‰ 时, 金钱鱼幼鱼的存活率为 50%; 当盐度为 60‰ 时, 金钱鱼幼鱼全部死亡。金钱鱼幼鱼在盐度高于 50‰ 的水体中停止摄食, 说明金钱鱼幼鱼最高生存盐度为 50‰。

2.3 pH 突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响 由表 3 可知, 当 pH 为 6.0~9.5 时, 金钱鱼幼鱼正常生存, 存活率为 100%; 当 pH 为 10.0, 金钱鱼幼鱼存活率为 0。

表 3 pH 突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	pH	时间 h	试验鱼数	存活鱼数	存活率 %
			尾	尾	
1	6.0	96	8	8	100
2	6.5	96	8	8	100
3	7.0	96	8	8	100
4	7.5	96	8	8	100
5	8.0	96	8	8	100
6	8.5	96	8	8	100
7	9.0	96	8	8	100
8	9.5	96	8	8	100
9	10.0	96	8	0	0

2.4 pH 二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响 根据第 1 次 pH 值突变的结果, 将金钱鱼幼鱼的养殖的 pH 值突变至 6.0 或 9.5, 48 h 后, 再突变至更低或更高 pH 的养殖海水中, 测定不同 pH 下幼鱼的存活率。由表 4 可知, 试验 96 h 后, 当 pH 为 4.4 和 4.2 时, 金钱鱼幼鱼出现了死亡, 其存活率分别为 75% 和 50%。当 pH 为 9.9 和 4.0 时, 金钱鱼幼鱼全部死亡。金钱鱼幼鱼在 pH 小于 5.0 或 pH 大于 9.7 的水体均停止摄食, 说明金钱鱼幼鱼最高和最低生存 pH 分别为 5.0 和 9.7。

表 4 pH 二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	pH	时间 h	试验鱼数	存活鱼数	存活率 %
			尾	尾	
1	9.9	96	8	0	0
2	9.7	96	8	8	100
3	5.8	96	8	8	100
4	5.6	96	8	8	100
5	5.4	96	8	8	100
6	5.2	96	8	8	100
7	5.0	96	8	8	100
8	4.8	96	8	8	100
9	4.6	96	8	8	100
10	4.4	96	8	6	75
11	4.2	96	8	4	50
12	4.0	96	8	0	0

2.5 温度对金钱鱼幼鱼存活率的影响 温度从 30 ℃ 突变至各温度条件下, 测定金钱鱼幼鱼的 96 h 存活率。由表 5 可知, 当温度从 20 ℃ 升到 35 ℃ 时, 金钱鱼幼鱼均无死亡; 当温度为 15 和 40 ℃ 时金钱鱼幼鱼出现死亡; 当温度为 10 ℃ 时金钱鱼存活率为 0。

2.6 温度的二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响 根据第 1 次温度突变的结果, 将金钱鱼幼鱼的养殖的温度突变至 20 ℃ 或 30 ℃, 48 h 后再突变至更低或更高温度的养殖海水中,

测定不同温度下幼鱼的存活率。由表6可知,当温度为16、18、37和39℃时,金钱鱼幼鱼均无死亡。金钱鱼幼鱼在温度低于16℃或高于40℃时停止摄食。

表5 温度对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	温度 ℃	时间 h	试验鱼数 尾	存活鱼数 尾	存活率 %
1	10	96	8	0	0
2	15	96	8	4	50.0
3	20	96	8	8	100.0
4	25	96	8	8	100.0
5	30	96	8	8	100.0
6	35	96	8	8	100.0
7	40	96	8	7	87.5

表6 温度二次突变对金钱鱼幼鱼存活率的影响

编号	温度 ℃	时间 h	试验鱼数 尾	存活鱼数 尾	存活率 %
1	14	96	8	0	0
2	16	96	8	8	100
3	18	96	8	8	100
4	37	96	8	8	100
5	39	96	8	8	100
6	41	96	8	0	0

3 讨论

盐度是影响水生生物生活的重要因素之一。盐度的不同及变化会影响到鱼类的生长、消化酶活性和渗透压调节等^[10-11]。当外界盐度逐渐改变时,水生生物的耐盐性较大;当外界盐度突然变化时,水生生物则不易忍受^[11]。金钱鱼生活于入海口流域,属于广盐性鱼类,经过驯化已经可以淡水养殖了。该试验结果表明金钱鱼幼鱼在盐度突变至0~40‰时,均能存活,盐度二次突变后当盐度为54‰时也未出现死亡。若盐度过高,超过了它本身可接受的范围,鱼体也会产生不适反应,甚至死亡。试验中就发现在盐度高于50‰的水体中金钱鱼幼鱼停止摄食,说明金钱鱼幼鱼最高耐受盐度为50‰。该试验结果表明金钱鱼幼鱼的适盐范围较宽且对低盐度适应能力较强。Ghazilou等^[6]研究表明当环境盐度发生变化时,金钱鱼将经历2个不同的阶段。首先是适应阶段,在这个阶段金钱鱼将调整鳃中氯细胞的数量、肾脏中肾小管的数量以及肾小球和收集管的直径和厚度等结构。经过适应阶段后,其鳃和肾脏在形态学上将保持稳定。在20‰盐度下的金钱鱼幼鱼鳃丝和鳃小片上泌氯细胞数量比淡水组中多,集中分布在鳃小片基部,细胞的胞体也显著膨大,其泌氯细胞结构和数量的变化是与金钱鱼所处的环境相适应的^[5]。同时,它的肾脏组织也会发生相应的变化,在高盐度(10‰、20‰或30‰)环境中的金钱鱼的肾脏的收集小管和肾小球的密度会明显低于在淡水和低盐度环境时^[7]。该试验结果还表明,通过适度的盐度渐变(二次突变)可以提高金钱鱼在高盐度海水中的存活率。同样,当盐度为1‰时,-1/d渐变组,大黄鱼(*Larimichthys crosea*)24h的存活率显著高于突变移入盐度为1‰的水体试验组^[12]。Kelly等^[13]将黑鲷

(*Mylio macrocephalus*)在盐度为6‰的低盐条件下适应8个月,可成功地适应淡水21d而不死亡。这说明鱼类在盐度适应过程中,虽然机体的相关组织结构及其生理状况的会发生相应的变化和调整,但这种调整是需要一定时间的。因此,在养殖金钱鱼时应采取盐度渐变的方式调整养殖盐度。

pH作为影响虾蟹、鱼类及贝类存活、生长和免疫活性的重要环境因子正日益受到研究者的重视^[14-16]。pH过高或过低都会影响鱼类的生长和存活,尤其是幼鱼。pH会影响鱼类呼吸和排泄,在适合pH条件下,耗氧率较低,而在pH不适合的条件下鱼体表现出不适应,耗能增大,耗氧率也会升高^[17]。pH的变化也会影响渗透压的调节能力,在低pH条件下神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)钠离子摄入被显著影响^[18]。pH的变化还会影响鱼类鳃组织的结构,当pH为6.3和8.8时,大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼的鳃小片上皮细胞角质化较为严重;当pH为6.8和7.8时鳃上皮细胞未见明显变化^[19]。当pH为6.0~9.5时,金钱鱼幼鱼都保持100%的存活率。pH二次突变后,当pH低至4.6时,仍能保持100%的存活率。从摄食观察来看,金钱鱼幼鱼在pH小于5.0或pH大于9.7的水体均停止摄食。从pH突变对金钱鱼幼鱼存活的影响来看,金钱鱼幼鱼对酸碱的变化适应能力较强。但是,pH也会影响水体有害因子,如氨氮的毒性^[20]。因此,在养殖过程中应尽可能提高水体的缓冲能力,保持水体pH的稳定。

温度也是影响海水鱼类生存、生长最重要的环境因子之一。仔、稚鱼对降温的适应能力与其个体大小、起止温度高低呈正相关,而与水温下降速度、下降幅度呈负相关^[21]。温度作为控制因子,主要对鱼类代谢反应速率起控制作用,影响着生理生化进程(如食物摄食量、维持需求、代谢率和蛋白质的合成率)^[22];温度也会影响鱼类生长激素、类胰岛素生长因子、RNA/DNA比值和糖原质量分数的变化^[23],从而成为影响鱼类活动和生长的重要环境变量。金钱鱼幼鱼对温十分敏感,是狭温性动物,在适温范围内增加温度可以提高金钱鱼幼鱼的摄食率,增强其活力,从而促进幼鱼生长。温度过高或过低都会降低金钱鱼幼鱼的摄食率,因此在适宜温度范围内,金钱鱼幼鱼摄食量随着温度的升高而增大。该试验表明,金钱鱼幼鱼适宜生存温度为16~40℃,说明金钱鱼幼鱼对温度的适应能力较低,喜较高温水体。金钱鱼幼鱼在温度低于16℃或高于40℃时停止摄食。宋郁等^[8]研究也发现,金钱鱼在温度过低(14~16℃)时,静卧水底,鳍条摆动频率低、体色更浅、少数侧卧、停止摄食。该研究发现金钱鱼幼鱼的最高和最低起始致死温度分别为40和15℃,说明金钱鱼对低温耐受能力弱,属于热带鱼类,适宜在我国南方地区养殖。

参考文献

- [1] 张邦杰,梁仁杰,毛大宁,等.金钱鱼的生长特性与咸水池塘驯养[J].现代渔业信息,1999,14(10):8-12.
- [2] MUSIKASUNG W,DANAYADOL Y,SONGSANGJINDA P. Stomach content and ecological feature of *Scatophagus argus* (Linnaeus) in Songkhla Lake [J]. Tech Paper, 2006,47: 30.
- [3] SIVAN G,RADHAKRISHNAN C K. Food, feeding habits and biochemical

- composition of *Scatophagus argus* [J]. Turkish J Fish Aquat Sci, 2011, 11: 603–608.
- [4] 兰国宝, 阎冰, 廖思明, 等. 金钱鱼生物学研究及回顾 [J]. 水产科学, 2005, 24(7): 39–40.
- [5] 宋郁. 金钱鱼渗透压调节机理及其它相关研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [6] GHAZILOU A, CHENARY F, MOROVVATI H, et al. Time course of salt-water adaptation in Spotted Scat (*Scatophagus argus*) (Pisces): A histomorphometric approach [J]. Italian J Zool, 2011, 78(1): 82–89.
- [7] CHENARI F, MOROVVATI H, GHAZILOU A, et al. Rapid variation in kidney histology in spotted scat *Scatophagus argus* on exposed to abrupt salinity changes [J]. Iranian J Vet Res, 2011, 12(3): 256–261.
- [8] 宋郁, 苏冒亮, 刘南希, 等. 金钱鱼幼鱼低温耐受能力和饵料营养需求的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 715–719.
- [9] 盘润洪, 骆明飞. 金钱鱼池塘淡化养殖试验 [J]. 海洋与渔业, 2008(8): 43–44.
- [10] 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 盐度对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响 [J]. 南方水产科学, 2009, 5(5): 8–14.
- [11] 刘青, 曲晗, 张硕. 强壮箭虫对温度、盐度的耐受性研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2007(1): 111–116.
- [12] 曾荣林, 谢仰杰, 王志勇, 等. 大黄鱼幼鱼对低盐度的耐受性研究 [J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2013, 18(3): 167–171.
- [13] KELLY S P, CHOW I N K, WOO N. Haloplasticity of black seabream (*Mylio macrocephalus*): hypersaline to freshwater acclimation [J]. J Exp Zool, 1999, 283(3): 226–241.
- [14] 强俊, 李瑞伟, 王辉. pH 对奥尼罗非鱼仔鱼活力及仔、稚鱼生长的影响 [J]. 南方水产科学, 2009, 5(2): 69–73.
- [15] LE MOULLAC G, HAFFNER P. Environmental factors affecting immune responses in crustacean [J]. Aquaculture, 2000, 191(1): 121–131.
- [16] KWONG R W M, KUMAI Y, PERRY S F. The physiology of fish at low pH: the zebrafish as a model system [J]. J Exp Biol, 2014, 217(5): 651–662.
- [17] 章龙珍, 杨金海, 刘鉴毅, 等. 温度、盐度、pH 和麻醉剂对长鳍篮子鱼幼鱼耗氧率的影响 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1494–1498.
- [18] DUARTE R M, FERREIRA M S, WOOD C M, et al. Effect of low pH exposure on Na⁺ regulation in two cichlid fish species of the Amazon [J]. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, 2013, 166(3): 441–448.
- [19] 王双耀, 毛守康, 苗治欧, 等. pH 对大菱鲆幼鱼平均日增重及鳃显微结构的影响 [J]. 天津农学院学报, 2013, 20(4): 10–13.
- [20] CHEZHIAN A, SENTAMILSELAVN D, KABILAN N. Histological changes induced by ammonia and pH on the gills of fresh water fish *Cyprinus carpio* var. communis (Linnaeus) [J]. Asian J Anim Vet Adv, 2012, 7(7): 1–9.
- [21] 陈政强, 林锦宗, 张雅芝. 温度对秋冬季生殖真鲷胚胎发育及仔、稚鱼存活的影响 [J]. 厦门水产学院学报, 1996, 18(1): 63–70.
- [22] 庄平, 李大鹏, 严安生. 拥挤胁迫和环环境因子对史氏鲟生长的调控作用 [J]. 中国水产科学, 2003, 10(7): 55–66.
- [23] 黄国强, 李洁, 唐夏, 等. 温度胁迫及恢复过程中褐牙鲈幼鱼 GH、IGF-I、RNA/DNA 比值和糖原的变化 [J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 16–21.

(上接第 9268 页)

耐高温、冷冻及耐强电解质等, 在医药、涂料、胶黏剂、合成功能纳米粒子等领域广泛应用。

参考文献

- [1] 翟利民, 李干佐, 郑立强. 囊泡研究进展 [J]. 日用化学品科学, 1999(S1): 21–23.
- [2] 余娜, 任殿福, 刘春丽, 等. 阴离子表面活性剂复配自发行成囊泡的研究 [J]. 吉林大学学报: 理学版, 2007, 45(4): 652–656.
- [3] GRADZIELSKI M. Vesicles and vesicle gels—structure and dynamics of formation [J]. J Phys: Condens Matter, 2003, 15: 655–697.
- [4] ŠEGOTA S, TEŽAK D. Spontaneous formation of vesicles [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2006, 121: 51–75.
- [5] OSTROWSKY N, SORNETTE D. Interactions between nonionic vesicles. importance of the aliphatic-chain phase transition [M]//DEGIORGIO V, CORTI M. Physics of amphiphiles: micelles, vesicles and microemulsions. Bologna: Elsevier Science, 1985: 563–586.
- [6] GRADZIELSKI M, MULLER M, BERGMIEIER M, et al. Structural and macroscopic characterization of a gel phase of densely packed monodisperse, unilamellar vesicles [J]. J Phys Chem B, 1999, 103: 1416–1424.
- [7] VAN DER LINDEN E, BUYTENHEK C J. Spontaneous formation of onion phases in a single surfactant system and their salt-induced transformation towards ordinary lamellar phases [J]. Physica A, 1997, 245: 1–10.
- [8] PANIZZA P, COLIN A, COULON C, et al. A dynamic study of onion phase under shear flow: size changes [J]. Eur Phys J, 1998, 4: 65–74.
- [9] OLIVIERO C, COPPOLA L, GIANFERRI R, et al. Dynamic phase diagram and onion formation in the system C 10E 3/D 20 [J]. Colloids Surf A, 2003, 228: 85–90.
- [10] 杨瑞, 王淑君. 非离子表面活性剂囊泡的研究进展 [J]. 中国药理学杂志, 2008, 6(3): 124–132.
- [11] 姜树红, 戈延茹, 汪珠燕. 非离子表面活性剂囊泡的研究进展 [J]. 中国现代药物应用, 2007, 1(11): 98–101.
- [12] 王大林, 盛坤贤. 非离子表面活性剂囊泡作为载体的进展 [J]. 中国医药工业杂志, 1998, 29(5): 235–240.
- [13] 赵晓宇, 李慧, 张保献. 新型药物载体非离子囊泡的制备和评价进展 [J]. 国际药学研究杂志, 2007, 34(6): 439–443.
- [14] KAMENKA N, CHORRO M, TALMON Y, et al. Study of mixed aggregates in aqueous solutions of sodium dodecyl sulfate and dodecyltrimethylammonium bromide [J]. Colloids Surf A, 1992, 67: 213–222.
- [15] KALER E W, HERRINGTON K L, MURTHY A K, et al. Phase behavior and structures of mixtures of anionic and cationic surfactants [J]. J Phys Chem, 1992, 96: 6698–6707.
- [16] MUNKERT U, HOFFMANN H, THUNIG C, et al. Perforated vesicles in ternary surfactant systems of alkyl–dimethylaminoxide cosurfactants and water [J]. Prog Colloid Polym Sci, 1993, 93: 137–145.
- [17] SCHURTENBERGER P, MAZER N, WALDVOGEL S, et al. Preparation of monodisperse vesicles with variable size by dilution of mixed micellar solutions of bile salt and phosphatidylcholine [J]. Biochim Biophys Acta, 1984, 775: 111–114.
- [18] ŠEGOTA S, HEIMER S, TEŽAK D. New catanionic mixtures of dodecyltrimethylammonium bromide/sodium dodecylbenzenesulphonate/water: 1. Surface properties of dispersed particles [J]. Colloids Surf A, 2006, 274: 91–93.
- [19] ALMGREN M. Alexander lecture 2003: cubosomes, vesicles, and perforated bilayers in aqueous systems of lipids, polymers, and surfactants [J]. Austral J Chem, 2003, 56(10): 959–970.
- [20] JUNG H T, LEE S Y, KALER E W, et al. Gaussian curvature and the equilibrium among bilayer cylinders, spheres, and disc [J]. Proc Natl Acad Sci, 2002, 99: 15318–15322.
- [21] HUANG J B, ZHU Y, ZHU B Y, et al. Spontaneous vesicle formation in aqueous mixtures of cationic surfactants and partially hydrolyzed polyacrylamide [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2001, 236: 201–207.
- [22] SHIOI A, HATTON T A. Model for formation and growth of vesicles in mixed anionic/cationic (SOS/CTAB) surfactant systems [J]. Langmuir, 2002, 18: 7341–7348.
- [23] TANEVA S G, PATTY P J, FRISKEN B J, et al. CTP:phosphocholine cytidyltransferase binds anionic phospholipid vesicles in a cross-bridging mode [J]. Biochemistry, 2005, 44: 9382–9393.
- [24] BERGSTRÖM M, PEDERSEN J S. Small-angle neutron scattering (SANS) study of aggregates formed for aqueous mixtures of sodium dodecyl sulfate (SDS) and dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB) [J]. Langmuir, 1998, 14: 3754–3761.
- [25] 王仲妮, 李干佐, 张高勇. 表面活性剂缔合结构作为药物载体的研究进展 [J]. 自然科学进展, 2004, 14(11): 1209–1214.
- [26] 魏颖慧, 陈萃苹, 李范珠. 囊泡及微粒经皮给药系统的研究进展 [J]. 中国医药工业杂志, 2010, 41(3): 224–228.
- [27] 张睿智, 邓英杰, 孙文平. 囊泡型磷脂凝胶研究进展 [J]. 中国药理学杂志, 2008, 6(4): 214–218.
- [28] 赵静, 王仲妮. 囊泡作为药物载体的研究进展 [J]. 食品与药品, 2010, 12(3): 29–132.
- [29] 赵晓宇, 李慧, 张保献. 新型药物载体非离子表面活性剂囊泡的应用研究进展 [J]. 中国医院药学杂志, 2008, 28(10): 833–835.
- [30] GERGORIADIS G. The carrier potential of liposomes in biology and medicine [J]. New Engl J Med, 1976, 295: 704–710.