

中华人民共和国农业行业标准

《牛蛙养殖技术规程 蝌蚪》

编制说明

（征求意见稿）

2025年8月

目 录

一、工作简况	1
(一) 任务来源	1
1.制定背景	1
2.项目来源	2
(二) 起草单位	2
(三) 主要工作过程	3
1.起草阶段	3
2.征求意见阶段	3
3.审查阶段 (未送审的不写本部分)	3
4.报批阶段 (未报批的不写本部分)	3
二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据	4
(一) 编制原则	4
(二) 主要内容的依据	4
三、主要试验或验证的分析、综述报告, 技术经济论证, 预期的经济效果	9
(一) 主要试验或验证的分析、综述报告	9
(二) 技术经济论证	23
(三) 预期经济效果	23
四、采用国际标准和国外先进标准的程度	24
五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系	24
六、重大分歧意见的处理经过和依据	24
七、标准作为强制性或推荐性标准的建议	24
八、贯彻标准的要求和措施建议 (包括组织实施、技术措施、过渡办法等)	24
九、废止现行有关标准的建议	24
十、其他应予说明的事项	24
参考文献	25

中华人民共和国农业行业标准

《牛蛙养殖技术规程 蝌蚪》

(征求意见稿)

编制说明

一、工作简况

(一) 任务来源

1.制定背景

在全国各级渔业主管部门和有关单位认真落实部署要求，主动入位、积极作为的情况下，我国 2020 年所启动实施的水产绿色健康养殖技术推广“五大行动”取得显著成效，成为渔业绿色高质量发展的重要抓手和响亮名片。2023 年，《农业农村部办公厅关于推进牛蛙养殖产业持续健康发展的通知》（农办渔〔2023〕28 号），明确提出“着力推进牛蛙绿色健康养殖”、“积极推进牛蛙养殖全产业链发展”。2024 年，《农业农村部关于落实中共中央、国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴工作部署的实施意见》（农发〔2024〕1 号）明确提出“实施水产绿色健康养殖技术推广行动”。同年，农业农村部渔业渔政管理局同全国水产技术推广总站制定并印发了《2024 年水产绿色健康养殖技术推广“五大行动”实施方案》，指出优化养殖模式、减少养殖污染、提升种业质量等措施对推动渔业养殖业的绿色高质量发展的重要性。

牛蛙 (*Rana catesbeiana*) 原产于美国东部数州，1959 年从古巴、日本引进我国内陆。目前全国各地均有养殖，是国家推荐和鼓励发展的重要水产养殖物种。据不完全统计，2023 年牛蛙全国 12 大产区养殖产量约达 100 万吨，主要产自广东、福建、广西、海南、湖南、江西、安徽等地，带动苗种、动保、饲料、流通、餐饮等行业的发展，全产业链产值超 1000 亿元。牛蛙具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇等营养特点，是优质的动物蛋白来源。近年来，因独特的口感和丰富的营养价值，牛蛙逐渐受到消费者的喜爱，餐饮行业对牛蛙需求的持续增长。据统计，2022 年我国已有超过 1 万家牛蛙主题餐厅、3 万多家牛蛙相关餐饮店。市场需求的增长推动了牛蛙养殖业的快速发展，其蝌蚪养殖作为产业链的一部分，对于推动渔业转型升级具有重要意义。

由于牛蛙养殖过程的标准和监管缺失，蝌蚪养殖场在选址、建设、运营等方面存在诸多问题。一方面，一些养殖场在养殖过程中，未建设或完善污染防治设施，导致养殖废弃

物未经处理直接向周边排放，污染自然生境。另一方面，牛蛙在蝌蚪期容易因养殖不当出现畸形、消化道疾病等问题，导致牛蛙的生长发育受阻，甚至影响其成活率。此外，为了预防和治疗疾病，养殖户可能会违规使用食品动物中禁止使用的药物，如硝基呋喃类药物等。这类药物在动物体内残留后，可能通过食物链进入人体，对人体健康造成潜在威胁。虽然农业农村部在 2023 年发布的《牛蛙生产全程质量控制技术规范》对产业体系进行了规范和完善，但针对蝌蚪养殖的苗种选择与放养、养殖生产和敌害生物预防等环节缺乏统一规程，牛蛙苗种产业的培养流程和技术标准亟须建立。

2.项目来源

2025 年 06 月 13 日，农业农村部农产品质量安全监管司《关于下达 2025 年第一批农业国家和行业标准制修订项目计划的通知》（农质标函 [2025] 63 号），华南农业大学承担了《牛蛙养殖技术规程 蝌蚪》的制订任务，项目编号 NYB-25045。根据任务要求，华南农业大学、广东省星蛙农业科技有限公司、华南农业大学中山创新中心、中国水产科学研究院珠江水产研究所、广州观星农业科技有限公司、中国农业大学、中国科学院水生生物研究所共同制定行业标准《牛蛙蝌蚪养殖技术规程》，归口单位为全国水产标准化技术委员会淡水养殖分技术委员会。

（二）起草单位

1.起草单位

华南农业大学、广东省星蛙农业科技有限公司、华南农业大学中山创新中心、中国水产科学研究院珠江水产研究所、广州观星农业科技有限公司、中国农业大学、中国科学院水生生物研究所。

2.主要起草人员及任务分工

姓名	单位	分工
杨慧荣	华南农业大学、华南农业大学中山创新中心	主要负责标准内容总体统筹和组织实施等工作
舒锐	广东省星蛙农业科技有限公司	主要负责养殖生产部分的编制等工作
谢骏	中国水产科学研究院珠江水产研究所	主要负责标准起草、征求意见、送审等工作
罗永康	中国农业大学	主要负责标准内容审查
殷战	中国科学院水生生物研究所	主要负责牛蛙蝌蚪种质部分的编制等工作
徐超	华南农业大学、华南农业大学中山创新中心	主要负责牛蛙蝌蚪投喂管理部分的编制等工作

曾芳	华南农业大学、华南农业大学中山创新中心	主要负责牛蛙蝌蚪变态期管理部分的编制等工作
何颖琳	华南农业大学、华南农业大学中山创新中心	主要负责大部分标准文本和编制说明的执笔等工作
夏耘	中国水产科学研究院珠江水产研究所	主要负责蝌蚪选择与放养部分的编制等工作
雷小婷	广东省星蛙农业科技有限公司	主要负责项目活动组织联络并协助统稿等工作
张浩田	广东省星蛙农业科技有限公司	主要负责捕捞和记录部分的编制等工作

（三）主要工作过程

1.起草阶段

2023年10月~2023年11月，根据项目需求和标准领域，华南农业大学、广东省星蛙农业科技有限公司、华南农业大学中山创新中心、中国水产科学研究院珠江水产研究所等起草单位抽调从事牛蛙蝌蚪养殖、病害防控、环境检测、营养调控、尾水处理、工程设施等专业人员组织成立标准起草小组。

2023年12月~2025年5月，标准起草组集中力量从各方面广泛收集国内外牛蛙蝌蚪养殖的相关法律法规、技术资料、行业标准、国际标准、研究报告、论文等，并收集了行业养殖数据和自有基地多年来牛蛙养殖的技术参数，完成了标准预研。

2025年06月13日，标准编制任务正式下达。

2025年6月~2025年7月，起草团队根据确定的框架结构和收集到的资料，进行深入的研究和分析，了解了行业现状、技术发展趋势和市场需求等情况，将所收集到的数据收集和量化分析，并对实测数据进行验证，提出了牛蛙蝌蚪养殖生产操作程序，并完成实施方案的制定。

2025年8月，标准起草小组在归类、分析、统计和实地调研的基础上完成标准的工作组讨论稿。

2.征求意见阶段

2025年9月，标准起草小组在多次召开标准讨论会和不断修改完善的基础上完成了标准的初步征求意见稿和编制说明，并征求意见。

3.审查阶段（未送审的不写本部分）

4.报批阶段（未报批的不写本部分）

二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

（一）编制原则

根据《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）的规定，基于本标准编制小组组织的试验研究所得成果和生产实践经验，结合部分参考文献，形成本标准征求意见稿。编制说明按照国家技术监督局“国家标准管理办法”第三章第十六条，以及《农业部国家（行业）标准的计划编制、制定和审查管理办法》第二章的基本要求编写。

本标准的制定紧密依托于牛蛙蝌蚪养殖项目实施与生产一线的实践经验，旨在确保相关技术规范与管理条例能够全方位、多角度地覆盖牛蛙蝌蚪养殖产业，从而保障技术的实用性和管理的有效性。

（二）主要内容的依据

1. 养殖流程

牛蛙蝌蚪养殖一般包括放养前准备、蝌蚪选择与放养、养殖生产和捕捞等阶段。其中，养殖生产又分为投喂管理、变态期管理、水温管理、水质管理、病害防治与敌害生物预防等环节。与其他水产动物的养殖流程相比，牛蛙蝌蚪的养殖流程中具有变态期管理环节，需要格外留意牛蛙从水生转变为两栖这一生态位转变带来的管理要求变化。

2. 养殖环境

好的场地是养殖成功的基础。本标准的生产场地选址、养殖前环境调查与评估以及场地管理基于 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范，要求场地的水质、土质、底质符合相关要求。本标准对养殖设施进行了充分考虑，无论是使用土池、砖砌池、钢筋混凝土池、水泥池、玻璃纤维池、帆布池还是网箱进行牛蛙蝌蚪养殖，都必须配备防止牛蛙逃逸的设施。防逃网网眼大小按照蝌蚪和变态后幼蛙的实际大小作出调整，养殖 3 cm 以下的蝌蚪设置 20 目的防逃网，3 cm 及以上的蝌蚪和幼蛙设置 5 目的防逃网，以保障养殖过程的安全与稳定。

3. 放养前准备

放养前准备是养殖准备工作中不可或缺的一环，它对于预防疾病、提高苗种成活率具有重要意义。因此，牛蛙蝌蚪放养前，应按照 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的要求消毒养殖环境和蝌蚪，以杀灭养殖环境中的病原菌、寄生虫和野杂鱼等。蝌蚪消毒的具体选择应根据实际情况而定，消毒所使用的药物参照《水产养殖用药明白纸》使用，并严格执行休药期。药物浓度和时间应该严格按照要求进行，以确保处理效果的同时避免

对苗种造成不必要的伤害。另外，还要对地表外源水进行过滤，严防外源水中有害生物进入池塘。采用边长 60 目~80 目的筛绢网袋对地表水外水源进行过滤是在实践中总结的数据，筛绢网密度过大则容易堵塞，密度过小则难以过滤其它水生生物的卵。水位控制应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的要求，养殖蝌蚪保持 20 cm~30 cm 水深。养小蝌蚪或水温较低时，水位宜低些，相反则宜高些。

4. 蝌蚪选择与放养

蝌蚪的选择是至关重要的环节，它直接关系到后续牛蛙养殖的成活率、生长速度及最终产品的品质。牛蛙蝌蚪种质来源应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的规定，来源于具有水产苗种生产许可证的生产主体。按如下质量要求选择蝌蚪：体表有光泽，体质健壮，游泳活泼；体形正常，皮肤、鳍完好无损；肉眼观察，95%以上的蝌蚪行自营生活，并主动摄食；规格整齐，同一规格的蝌蚪合格率不得低于90%；随机抽样解剖检查器官，鳃、肝脏和肠道的颜色鲜艳，无异常。可以有效降低养殖过程中发生疾病的风险，提高养殖成功率。

为了降低养殖初期由于应激而导致的蝌蚪死亡，蝌蚪放养应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的规定，降低养殖水温和运输水温温差，期间应注意观察蝌蚪情况。蝌蚪放养时全程带水操作，少量多次放入水中。蝌蚪放养密度主要依据行业生产实践，既要考虑摄食驯化需要一定的高密度，以及养殖经济效益也需要一定的高密度，同时又要兼顾高密度养殖带来的危害（应激增加、排放加大等）。因此，基于 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的规定，再结合相关论文，推荐蝌蚪放养规格大小一致，养殖过程中要适时分级养殖。各养殖主体可根据养殖环境和养殖设施条件依实际情况而参考。

5. 养殖生产

重点关注投喂管理、变态期管理、水温管理、水质管理、病害防治与敌害生物预防等 6 个方面，存在相互影响的逻辑关系。特别是进入变态期后，随着投饲量增加，残饵粪便增多，水质调控难度变大，病害的发生风险与防控难度也相应增加，水温管理和敌害生物预防则贯穿整个养殖周期。

5.1 投喂管理

对饲料投喂量的精准把控至关重要。牛蛙的摄食情况与饲料的具体营养组成、变态阶段、水质情况、天气状况等多个因素有关。根据在多个示范基地的养殖数据，综合考虑饲料卫生、生长性能、饵料系数及劳动力成本，使用粗蛋白 $\geq 35\%$ 、粗脂肪 $\geq 5\%$ 的 0.5 mm 粉状配合饲料进行投喂，饲料卫生符合 GB 13078 饲料卫生标准的要求，不得使用变质和过期的

配合饲料。幼蝌蚪和小蝌蚪每千克饲料宜搭配 12 g~18 g 裂壶藻粉投喂，中蝌蚪和大蝌蚪每千克饲料宜搭配 12 g~18 g 的小球藻粉投喂，能够有效提高蝌蚪增重率和变态率并增强体质。每日早中午晚各投喂 1 次，日投喂量占体重的 5%~8%，控制在投喂 15 min~20 min 后无剩料为宜。根据蝌蚪发育情况、摄食情况、天气情况等适时加减料或停料。控制在投料 1h 后无剩料为宜。按照天气情况或蝌蚪健康情况、设施情况和天气情况进行减料或停料。根据实际发育期和生长情况，选择合适的投喂量，养成至一定规格和发育时需要增加投喂量。

5.2 变态期管理

蝌蚪成长为幼蛙前，需要经历变态期。蝌蚪孵化后，应及时通过调节水温、调控营养等措施促进变态。变态期蝌蚪的管理措施比变态前更加精细。牛蛙蝌蚪出现长后腿开始，应增放适量蛙垫，提供牛蛙蝌蚪变态休息场所，也方便投喂。牛蛙蝌蚪出现长前脚时，进入变态的最后阶段，应逐步减少饲料的投喂量，依靠尾部营养完成最终的变态发育。

5.3 水温管理

牛蛙是变温动物，水和环境的温度直接影响其新陈代谢。根据文献分析、养殖经验和实验数据总结，牛蛙蝌蚪生长发育的最适水温是 23℃~27℃，这一水温区间能在保障蝌蚪体质健康的前提下获得较高存活、增重和变态表现。水温低于 23℃，会不同程度地降低牛蛙蝌蚪的存活率、增重速率和变态速率；水温低于 10℃，蝌蚪停止摄食；水温接近乃至低于 0℃，蝌蚪会逐渐冰冻死亡。而水温高于 23℃，虽然会提高蝌蚪的变态率和变态速率，但会降低蝌蚪的存活率和增重率；水温高于 27℃，还会降低变态后的存活率、增重率和体质强度；水温高于 30℃，对变态后的影响将不可逆；水温高于 35℃，蝌蚪不安、浮头，40℃ 即致死。如水温低于 18℃，需要采用加注温水、加盖温棚等方法保温，避免水面结冰；如水温高于 30℃，则要及时换水，例如将原池水排出 1/4~1/2，引进水温较低的清洁水，并且加盖凉棚。

5.4 水质管理

蝌蚪的养殖关键是既培肥池水，又使水质不污染变质，含氧量较高。因此，池塘进满水后，宜采用微孔曝气增氧，保持溶解氧 ≥ 5 mg/L。在养殖池培养浮游藻类改良水质，并根据水位和水质监测数据适时补换水，保持水质稳定。基于各牛蛙蝌蚪养殖基地在生产实践中的经验总结，牛蛙蝌蚪养殖过程中，养殖水体溶氧、温度和 pH 宜每天记录和保存，氨氮、亚硝酸盐等水质指标宜每 3 d~5 d 监测 1 次。尾水处理应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的规定。

5.5 病害防治

病害防治是牛蛙蝌蚪养殖成败的重要环节。病害防治应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的要求，遵循“预防为主，防治结合”的原则。除了前述的养殖环境和蝌蚪消毒外，在养殖过程中，要注意改善养殖环境，不定期消毒。使用恩诺沙星和环丙沙星等喹诺酮类抗生素，会造成药物依赖和耐药性。蝌蚪在停药后体质下降、抗病力低下，需要反复使用和加大药量来维持存活。不仅导致抗生素残留量超标，还降低了动物的生产性能，影响养殖生产效益。因此，在蝌蚪养殖过程中，药物使用应符合 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的规定，定期检查用药情况，以保障食品安全并降低潜在风险。同时严控相关抗生素类药物的使用，参考 NY/T 455 绿色食品 渔药使用准则使用其它允许使用的药物。患病蝌蚪及时隔离治疗处理，死亡蝌蚪应及时捞出进行无害化处理，工具使用后应进行消毒，避免交叉感染。养殖优质健康的无抗种苗，才能从源头控制牛蛙产业的食品安全风险。

5.6 敌害生物预防

近年来，随着牛蛙养殖规模的扩大，对于蝌蚪的成活率也提出了要求。因此，提高牛蛙蝌蚪的成活率尤为重要。为保障本文件的实用性和可操作性，按照本标准条款要求，不仅收集牛蛙蝌蚪养殖敌害预防相关的规范性文件及相关的科研成果，也调研了牛蛙蝌蚪养殖过程中敌害生物的出现情况，列出了常见敌害生物的种类及预防方法：肉食性鱼类、龟鳖类、虾类、蛙类和桡足类、水生昆虫类等敌害生物应通过设置围栏、围网和注水口滤网进行预防，丝状水藻类应通过及时捞出和消毒池塘进行预防。

5.7 巡查管理

对于养殖情况，每天需要巡查 1 次~2 次，确保养殖设施正常运转，定期进行设备维护和保养。此外，密切关注天气等因素的变化，做好防逃、防灾害、防病害、防敌害等各项措施，避免由于日常管理的疏忽导致蝌蚪养殖过程出现不必要的损失。

6. 捕捞

待到蝌蚪四脚长成、尾巴消失后，及时通过单层蛙垫和泡沫浮板将变态完成的幼蛙从蝌蚪池中捞出，转入幼蛙池养殖，或等到大部分蝌蚪变态完成，再成批装箱运往别处继续养殖。使用各种渔药应符合休药期的规定，捕捞前应检查药物使用记录，并进行产品检测。

7. 记录

牛蛙蝌蚪养殖的记录按照 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范的要求进行，要求养殖操作人员每天对养殖生产、天气变化、水质检测、用药情况等内容进行记录，以便

于总结分析养殖生产中的技术管理问题、全面准确统计各项指标数据，以及开展养殖过程监管与产品溯源。

三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

(一) 主要试验或验证的分析、综述报告

目前，我国牛蛙主要靠养殖生产，全国各地均产，主要集中于湖南、江西、新疆、四川、湖北等地。其中，蝌蚪供应源主要来自广东、福建等地。2023年，本标准项目实施以来，标准编制组在广东省汕头市、福建省漳州市等地走访调研，对各地牛蛙蝌蚪养殖开展本底调查，并在观星农业数字化渔业肇庆养殖基地、华南农业大学实验基地、华南农业大学中山创新中心循环水养殖系统等多个基地开展养殖实验，根据水质、生物资源和养殖情况的调查结果进行理论分析，结合文献资料，验证了养殖生产技术的适用性，确保各方法的科学性和可操作性。标准提出了面向不同养殖类型的方法，尤其是根据多年实践，提出了放养前准备、蝌蚪选择与放养和养殖生产的基本原则，可确保企业和养殖户因地制宜、分类施策地进行蝌蚪养殖，技术上先进，经济上合理，有助于合理利用生产力，更好地指导养殖环境管理和养殖生产规划，并以此为基础建立环境友好、持续健康的健康养殖模式。通过养殖技术规范，达到保护水环境和高产高效的目的，提高养殖的经济效益、社会效益和生态效益，实现牛蛙养殖业的可持续发展。

1. 水温对牛蛙蝌蚪生长发育趋势和机体健康的影响

1.1 材料与方法

1.1.1 养殖环境及水质条件

试验地点为华南农业大学中山创新中心室内循环水养殖系统。养殖缸规格1.80×0.60×0.55米，水深30cm，缸体566L。水源为除氯市政自来水，pH=7.8~8.3，水质良好。

1.1.2 水温设置

室内养殖，设置室温为20℃，通过加热设备调节水温，并通过水质监测系统实时监测水温。设置3个温度梯度（23℃、27℃和31℃），每梯度设置4缸作为生物学重复。

1.1.3 蝌蚪放养

放养前一天进行试水，确认无异常后，选取体色鲜亮、体表有光泽、游泳活泼的牛蛙蝌蚪（7日龄，初始全长为2.03±0.08cm，初始体重为0.28±0.07g/尾）用复合碘溶液（水产用，有效碘含量5%~10%），浸浴消毒15min~20min，消毒后移入循环水养殖系统内养殖，放养数量为315尾/箱，放养密度1尾/升。

1.1.4 投喂管理

投喂粉状人工配合饲料，要求营养全面、新鲜、不变质，粒径0.5mm，粗蛋白≥35%、

粗脂肪 $\geq 5\%$ 。每天投喂 4 次，从早上 6:00 到晚上 6:00 每 3h 投喂一次，投喂量占蝌蚪体重的 5%~8%，具体饲料投喂量根据蝌蚪体重和摄食情况等确定，每缸相同。投饲位置相对固定，便于蝌蚪摄食。

1.1.5 养殖管理

每天检测水质，并记录各项养殖数据，包括水质检测记录（水温、溶解氧、pH 值、氨氮、亚硝酸盐）、苗种放养记录、饲料用量记录、生产支出记录、渔药使用记录、死亡情况等，加强巡视工作，观察蝌蚪活力情况和摄食情况。每 1 h~2 h 巡查养殖设备 1 次，确保设备正常运转。

1.1.6 生长发育数据与样品采集

每 5 天测量蝌蚪的生长数据，每次每缸随机抽取 10 尾蝌蚪记录体重和体长。从第 1 尾蝌蚪长出后肢芽起，每 5 天统计一次蝌蚪的发育时期。养殖至第 8 周时，禁食 24 小时，每缸随机抽取 30 尾前肢和后肢完全长成，且尾巴尚未开始消失的蝌蚪，测量和记录体重，以此计算蝌蚪增重率和生长速率。每缸随机挑选 4 只变态后 1 周的牛蛙，毁髓处死后，分别取 4 只蛙的整个肝脏和整条肠道置于冻存管中，液氮速冻后， -80°C 下保存，用于肝脏和肠道的生理生化指标测定。将变态完成的幼蛙从蝌蚪缸中捞出，转入幼蛙缸中继续养殖，并解除温度梯度，恢复室温养殖，定期记录体重以计算幼蛙增重率。

1.1.7 生长发育效能评价

生长发育指标包括体重增长率及增长趋势、体长增长率及增长趋势、变态率及变态趋势，每组第 1 尾变态时间、半数变态时间和完全变态时间。相关计算公式依次为：

存活率 (%) = 存活动物数 / 养殖开始时的牛蛙蝌蚪数 $\times 100$ ；

蝌蚪增重率 (%) = $(W_t - W_0) \times 100 / W_0$ ，其中 W_0 和 W_t 分别为蝌蚪初始和最终体重；

蝌蚪生长速率 (%wt./day) = 蝌蚪增长率 / 蝌蚪养殖天数 (天)；

变态率 (%) = 前肢和后肢完全长成的牛蛙蝌蚪数 / 养殖开始时的牛蛙蝌蚪数 $\times 100$ ；

幼蛙存活率 (%) = 幼蛙存活数 / 转入幼蛙缸中养殖的幼蛙数 $\times 100$ ；

幼蛙增重率 (%) = $(W_t' - W_0') \times 100 / W_0'$ ，其中 W_0' 和 W_t' 分别为变态完成后幼蛙初始和变态后 8 周的体重；

幼蛙生长速率 (%wt./day) = 幼蛙增长率 / 幼蛙养殖天数 (天)。

1.1.8 牛蛙蝌蚪生理生化指标的测定

牛蛙肠道蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶、 Na^+K^+ -ATP 酶、肌酸激酶、酸性磷酸酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力以及丙二醛含量的测定，和牛蛙肝脏总抗氧化能力、总超氧

化物歧化酶、天门冬氨酸氨基转移酶、丙氨酸氨基转移酶、 γ -谷氨酰转移酶活力以及丙二醛含量的测定，均使用南京建成生物工程研究所的商业试剂盒。

1.1.9 数据处理

用 IBM SPSS Statistics V22.0 进行单因素方差分析或，数值以平均值 \pm 标准误 (S.E.M.) 表示， $P < 0.05$ 表示差异显著。

1.2 结果与分析

1.2.1 牛蛙蝌蚪生长发育结果及其趋势分析

如表 1 所示，养殖至第 80 天，3 种水温下养殖的牛蛙蝌蚪，其存活率差异不显著 ($P > 0.05$)，但水温 30°C 下养殖的牛蛙蝌蚪，存活率低于 23°C 和 27°C 下养殖的牛蛙蝌蚪。增重率、生长速率和变态率存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中，水温 27°C 和 30°C 下养殖的牛蛙蝌蚪，其增重率和生长速率低于 23°C 下养殖的牛蛙蝌蚪。3 种水温下养殖的牛蛙，变态率和雄性率差异极显著 ($P < 0.01$)。

表 1 3 种水温对牛蛙蝌蚪生长发育性能的影响

水温	23°C	27°C	30°C
蝌蚪存活率 (%)	96.30 \pm 0.93	95.38 \pm 2.75	92.29 \pm 2.94
蝌蚪增重率 (%)	19624.87 \pm 943.24 ^a	16432.42 \pm 510.09 ^b	15352.19 \pm 237.76 ^b
蝌蚪生长速率 (%/天)	218.05 \pm 10.48 ^a	182.58 \pm 5.67 ^b	170.58 \pm 2.64 ^c
变态率 (%)	56.67 \pm 4.76 ^c	68.57 \pm 1.13 ^b	85.05 \pm 0.92 ^a
雄性率 (%)	55.56 \pm 2.97 ^c	77.36 \pm 1.42 ^b	84.21 \pm 2.57 ^a

养殖至第 80 天，不同水温下养殖的牛蛙蝌蚪，其生长趋势和变态趋势显著不同 ($P < 0.05$)。如表 2 和 3 所示，水温 23°C 下养殖的牛蛙蝌蚪，从开始养殖至养殖第 80 天，其增重率和生长速率始终优于水温 27°C 和 30°C 下养殖的牛蛙蝌蚪；而水温 27°C 和 30°C 下养殖的牛蛙蝌蚪，从开始养殖至养殖第 80 天，其变态启动时间、变态速率和变态率始终优于水温 23°C 下养殖的牛蛙蝌蚪。

表 2 3 种水温对牛蛙蝌蚪生长趋势的影响

养殖天数 (天)	体重 (g)		
	23°C	27°C	30°C
0	0.0362 \pm 0.0011	0.0362 \pm 0.0011	0.0362 \pm 0.0011
5	0.1067 \pm 0.0094	0.0912 \pm 0.0055	0.0833 \pm 0.0058

养殖天数 (天)	体重 (g)		
	23°C	27°C	30°C
15	0.1764±0.0083 ^a	0.1546±0.0102 ^{ab}	0.1283±0.0104 ^b
20	0.3413±0.014	0.28±0.0234	0.2632±0.025
25	0.6027±0.0334	0.5156±0.0278	0.537±0.0375
30	1.0888±0.0534	0.9547±0.0424	1.0101±0.068
35	1.7172±0.0746 ^a	1.5496±0.0934 ^{ab}	1.2873±0.0654 ^b
40	2.0605±0.0978	1.8287±0.1497	1.7807±0.0818
45	2.9398±0.1378 ^a	2.8452±0.1785 ^{ab}	2.3608±0.0669 ^b
50	3.5183±0.1333	3.3091±0.168	2.9613±0.1013
55	4.5839±0.1818 ^a	3.7942±0.1758 ^b	3.2712±0.0706 ^c
60	4.6871±0.1611 ^a	4.1439±0.2419 ^b	3.5944±0.1031 ^c
65	4.9449±0.3822 ^a	4.2197±0.2982 ^b	3.7168±0.1007 ^c
70	5.6484±0.1642 ^a	5.1958±0.193 ^b	4.5999±0.1063 ^c
75	6.4614±0.2380 ^a	5.8856±0.0853 ^b	5.379±0.1097 ^c
80	6.9638±0.2624 ^a	6.0382±0.1364 ^b	5.6301±0.0757 ^c

表 3 3 种水温对牛蛙蝌蚪变态趋势的影响

养殖天数 (天)	体重 (g)		
	23°C	27°C	30°C
30	0.00±0.00	0.00±0.00	1.79±0.88
35	0.00±0.00	0.00±0.00	8.93±0.81
40	0.00±0.00	3.77±0.97	11.61±0.80
45	3.17±1.63 ^c	6.35±1.78 ^b	13.51±0.21 ^a
50	7.55±0.92 ^{bc}	9.52±0.26 ^b	21.82±0.53 ^a
55	12.70±1.33 ^b	13.33±0.98 ^b	28.18±1.00 ^a
60	14.29±0.39 ^c	19.05±1.01 ^b	41.12±0.33 ^a
65	23.81±0.66	37.14±0.61 ^b	52.34±0.40 ^a
70	40.00±2.12 ^c	58.1±0.40 ^b	72.9±1.83 ^a
75	51.67±2.31 ^c	64.76±1.50 ^b	82.24±0.65 ^a
80	56.67±4.76 ^c	68.57±1.13 ^b	85.05±0.92 ^a

1.2.2 变态后幼蛙的生长结果及其趋势分析

如表 4 所示, 变态后第 8 周, 蝌蚪期在 3 种水温中养殖的幼蛙, 变态后的存活率、增重率和生长速率存在显著性差异 ($P<0.05$)。如表 5 所示, 蝌蚪期在 23°C 和 27°C 下养殖的幼蛙, 变态后的初始体重显著高于 30°C 下养殖的幼蛙 ($P<0.05$)。变态后 8 周内, 蝌蚪期在 23°C 下养殖的幼蛙, 变态后的增重率和生长速率始终优于蝌蚪期在 27°C 和 30°C 下养殖的幼蛙 ($P<0.05$)。

表 4 3 种水温对变态后幼蛙生长性能的影响

水温	23°C	27°C	30°C
幼蛙存活率 (%)	78.97±1.03 ^a	71.43±0.73 ^b	69.33±2.67 ^b
幼蛙增重率 (%)	520.03±37.01 ^a	442.44±19.86 ^b	414.58±28.15 ^b
幼蛙生长速率 (%/天)	9.29±0.66 ^a	7.90±0.35 ^b	7.40±0.50 ^b

表 5 3 种水温对变态后幼蛙生长性能的影响

变态后天数 (天)	体重 (g)		
	23°C	27°C	30°C
0	6.8325±0.2810 ^a	6.5264±0.3763 ^{ab}	5.3133±0.4416 ^b
14	13.3775±1.5363 ^a	12.0765±0.4544 ^{ab}	10.0653±0.4085 ^c
28	27.2500±2.3654 ^a	18.1514±1.1809 ^b	15.5207±0.3272 ^c
56	42.3580±3.2769 ^a	34.8367±2.2052 ^b	27.1517±1.7594 ^c

1.2.3 变态后幼蛙的生理生化指标结果与分析

如表 6 所示, 蝌蚪期在 23°C 下养殖的幼蛙, 其肠道脂肪酶活力、酸性磷酸酶活力和抗氧化能力 (超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力) 显著高于蝌蚪期在 27°C 和 30°C 下养殖的幼蛙, 蛋白酶和肌酸激酶活力显著低于蝌蚪期在 27°C 和 30°C 下养殖的幼蛙 ($P < 0.05$)。结果表明, 蝌蚪期在 23°C 下养殖的幼蛙表现出更高的能量储备、更强的抗氧化能力和更低的基础代谢需求, 而蝌蚪期在 27°C 和 30°C 下养殖的幼蛙则因基础代谢需求的提高增加了能量消耗, 从而导致了更频繁的蛋白质分解和能量代谢活动。

表 6 3 种水温对牛蛙蝌蚪肠道生理生化指标的影响

项目	分组		
	23°C	27°C	30°C
脂肪酶 (U/mg protein)	11.29±1.77 ^a	7.97±1.11 ^b	7.18±1.62 ^{bc}
蛋白酶 (U/mg protein)	6.51±1.45 ^{bc}	7.00±0.45 ^b	7.95±0.22 ^a
酸性磷酸酶 (U/g protein)	29.13±5.21 ^a	20.45±1.11 ^b	20.62±1.92 ^b
肌酸激酶 (U/mg protein)	1.07±0.07 ^{bc}	1.22±0.12 ^b	1.43±0.13 ^a
超氧化物歧化酶 (U/mg protein)	761.21±54.59 ^a	665.10±40.35 ^b	646.28±134.36 ^b
过氧化氢酶 (U/mg protein)	111.28±1.69 ^a	110.5±6.19 ^a	69.87±16.06 ^b

蝌蚪期在 3 种水温中养殖的幼蛙, 其肝脏生理生化测定结果见表 7。结果表明, 蝌蚪期在 30°C 下养殖的幼蛙, 其肝脏丙二醛含量显著高于蝌蚪期在 23°C 和 27°C 下养殖的幼蛙 (P

<0.05)。结合总抗氧化能力以及谷丙转氨酶、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性结果分析,表明蝌蚪期的高水温养殖诱导了牛蛙肝脏的氧化应激反应,增加了活性氧的生成,导致机体抗氧化能力异常升高和损伤修复机制的激活,表现出一定程度的细胞损伤。

表 7 3 种水温对牛蛙蝌蚪肝脏生理生化指标的影响

项目	分组		
	23°C	27°C	30°C
总抗氧化能力 (mmol/ g protein)	2.42±0.16 ^c	2.94±0.19 ^{ab}	3.24±0.54 ^a
谷丙转氨酶 (U/g protein)	18.03±1.57	22.08±1.58	20.04±2.65
超氧化物歧化酶 (U/mg protein)	720.89±3.72 ^b	725.20±17.53 ^b	832.36±44.56 ^a
过氧化氢酶 (U/mg protein)	145.48±10.43 ^b	144.78±16.85 ^b	179.94±6.91 ^a
丙二醛 (mg protein)	1.87±0.22 ^b	2.05±0.20 ^b	2.32±0.62 ^a

上述结果表明,牛蛙蝌蚪养殖的理想水温是 23°C~27°C。略高于 23°C 的良性高温能适当加快变态速率,提高变态率和雄性率,并保障良好的生长发育趋势和和机体健康。而 30°C 以上的恶性高温会导致蝌蚪基础代谢率过高,从而导致增重率和生长速率下降。高温对变态发育的促进大大缩短了蝌蚪期,但也导致了负面影响:基础代谢率过高和早熟导致幼蛙的基础体重下降,从而降低了育肥期的增重率和增重上限,甚至因体质下降导致存活率和繁殖力的降低。此外,30°C及以上水温养殖的牛蛙蝌蚪,雄性率达到 9 成,性别比例严重失衡。雄蛙的生长速率低于雌蛙,数量时过多会降低养殖生产效益。综上,牛蛙蝌蚪的养殖水温宜保持在 23°C~27°C。

2. 饲料中添加藻粉对牛蛙蝌蚪生长发育、饲料表现和肠道健康的影响

2.1 材料与方法

2.1.1 养殖环境及水质条件

试验地点为华南农业大学中山创新中心循环水养殖系统。养殖缸规格 1.80×0.60×0.55 米,水深 30 cm,缸体 566 L。水源为除氯市政自来水,水温 29.0±0.58°C, pH=7.8~8.3,水质良好。

2.1.2 蝌蚪放养

放养前一天进行试水,确认无异常后,选取体色鲜亮、体表有光泽、游泳活泼的牛蛙蝌蚪(7日龄,初始全长为 2.03±0.08 cm,初始体重为 0.28±0.07 g/尾)用复合碘溶液(水产用,有效碘含量 5%~10%),浸浴消毒 15 min~20 min,消毒后移入循环水养殖系统内养殖,

放养数量为 315 尾/箱，放养密度 1 尾/升。

2.1.3 投喂管理

粉状人工配合饲料要求营养全面、新鲜、不变质，粒径 0.5 mm，粗蛋白 \geq 35%、粗脂肪 \geq 5%。以未添加藻粉的人工配合饲料为对照，分别向饲料中添加 3 种藻粉，并设置浓度梯度，每千克饲料分别搭配螺旋藻（0%、1.0%、2.0%、4.0%和 6.0%），裂壶藻（0%、0.2%、0.5%、1.0%、1.5%和 2.0%）和小球藻（0%、0.1%、0.5%、1.0%、1.5%和 2.0%），每梯度设置 4 缸作为生物学重复。每天投喂 4 次，从早上 6:00 到晚上 6:00 每 3h 投喂一次，投喂 8 周。饱食投喂，具体饲料投喂量根据蝌蚪体重、摄食情况、天气情况等确定。投喂位置相对固定，便于蝌蚪摄食。

2.1.4 养殖管理

每天检测水质，并记录各项养殖数据，包括水质检测记录（水温、溶解氧、pH 值、氨氮、亚硝酸盐）、苗种放养记录、饲料用量记录、生产支出记录、渔药使用记录、死亡情况等，加强巡视工作，观察蝌蚪活力情况和摄食情况。每 1 h~2 h 巡查养殖设备 1 次，确保设备正常运转。

2.1.5 生长发育数据与样品采集

养殖至第 6 周和 8 周时，禁食 24 小时。称量每缸蝌蚪的总重，并统计数量和发育时期，以此计算生长发育效能。养殖至第 8 周时，每缸随机挑选 4 只变态后牛蛙，毁髓处死后，分别取 4 只蛙的整条肠道置于冻存管中，液氮速冻后，-80℃下保存，用于肠道的生理生化指标测定。

2.1.6 生长发育效能和饲料表现评价

相关指标包括增重率、特定生长率、饲料转化率、肥满度、预变态率和变态率。其计算公式依次为：

增重率 (%) = $(W_t - W_0) \times 100 / W_0$ ，其中 W_0 和 W_t 分别为初始和最终体重；

特定生长率 (%/天) = $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / T$ ；其中 T 为养殖天数 (天)；

饲料转化率 = 饲料消耗量 (g) / 蝌蚪增重量 (g)；

预变态率 (%) = 6 周时具有后肢芽的牛蛙蝌蚪数 / 养殖开始时的牛蛙蝌蚪数 $\times 100$ ；

变态率 (%) = 8 周时具有前肢和完全发育后肢的牛蛙蝌蚪数 / 养殖开始时的牛蛙蝌蚪数 $\times 100$ ；

2.1.7 饲料和牛蛙蝌蚪主要营养成分的测定

灰分的测定采用 550℃高温灰化法，参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》；水分

含量的测定采用 105°C烘箱干燥法，参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》；粗脂肪测定采用索氏抽提法，参照 GB/T 5009.6-2006《食品中脂肪的测定》；蛋白质的测定采用微量凯氏定氮法，参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》。

2.1.8 牛蛙蝌蚪生理生化指标的测定

牛蛙肠道蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶、 Na^+K^+ -ATP 酶、肌酸激酶、酸性磷酸酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力以及丙二醛含量的测定均使用南京建成生物工程研究所的商业试剂盒。

2.1.9 数据处理

用 IBM SPSS Statistics V22.0 进行单因素方差分析，数值以平均值 \pm 标准误 (S.E.M)表示， $P<0.05$ 表示差异显著， $P<0.01$ 表示差异极显著。

2.2 结果与分析

2.2.1 饲料常规营养成分比较分析

如表 8 所示，添加多个梯度 3 种不同藻粉的饲料，其粗蛋白、粗脂肪、水分、粗灰分差异不显著 ($P<0.05$)。

表 8 添加 3 种藻粉的饲料常规营养成分含量

项目	分组				
	对照组	螺旋藻1.0%	螺旋藻2.0%	螺旋藻4.0%	螺旋藻6.0%
粗蛋白	36.17 \pm 0.53	35.48 \pm 0.03	35.09 \pm 0.07	35.69 \pm 0.08	36.02 \pm 0.06
粗脂肪	5.23 \pm 0.08	5.53 \pm 0.10	5.58 \pm 0.07	5.57 \pm 0.05	5.65 \pm 0.05
水分	8.14 \pm 0.13	7.96 \pm 0.07	8.00 \pm 0.09	8.20 \pm 0.08	8.15 \pm 0.03
粗灰分	12.53 \pm 0.07	11.39 \pm 0.09	12.28 \pm 0.11	12.36 \pm 0.10	12.35 \pm 0.05
	裂壶藻0.2%	裂壶藻0.5%	裂壶藻1.0%	裂壶藻1.5%	裂壶藻2.0%
粗蛋白	35.14 \pm 0.78	35.93 \pm 0.05	36.16 \pm 0.04	35.77 \pm 0.01	36.13 \pm 0.22
粗脂肪	5.53 \pm 0.11	5.51 \pm 0.12	5.43 \pm 0.06	5.49 \pm 0.08	5.52 \pm 0.1
水分	7.87 \pm 0.09	8.03 \pm 0.03	7.93 \pm 0.01	8.01 \pm 0.1	7.9 \pm 0.08
粗灰分	12.01 \pm 0.24	11.95 \pm 0.26	11.9 \pm 0.23	12.17 \pm 0.1	12.01 \pm 0.04
	小球藻0.2%	小球藻0.5%	小球藻1.0%	小球藻1.5%	小球藻2.0%
粗蛋白	35.88 \pm 0.75	35.76 \pm 0.34	36.41 \pm 0.23	36.37 \pm 0.38	35.69 \pm 0.25
粗脂肪	5.69 \pm 0.07	5.58 \pm 0.11	5.53 \pm 0.03	5.69 \pm 0.09	5.53 \pm 0.11
水分	8.62 \pm 0.08	8.64 \pm 0.06	7.97 \pm 0.14	7.91 \pm 0.08	8.18 \pm 0.16
粗灰分	11.53 \pm 0.11	12.25 \pm 0.22	11.72 \pm 0.20	12.27 \pm 0.13	11.95 \pm 0.10

2.2.2 牛蛙蝌蚪常规营养成分比较分析

如表 9 所示, 投喂添加多个梯度 3 种不同藻粉饲料的牛蛙蝌蚪, 其粗蛋白和粗脂肪差异不显著 ($P < 0.05$)。

表 9 3 种藻粉对牛蛙蝌蚪营养成分含量的影响

项目	分组				
	对照组	螺旋藻1.0%	螺旋藻2.0%	螺旋藻4.0%	螺旋藻6.0%
粗蛋白	76.53±0.91	80.37±1.11	82.33±1.03	84.65±1.08	83.26±0.77
粗脂肪	14.56±0.14	14.74±0.32	15.78±0.31	16.03±0.64	16.44±0.15
水分	80.16±2.64	78.06±2.31	80.02±1.58	79.23±1.43	77.58±1.35
粗灰分	12.37±0.51	11.81±1.35	11.92±0.34	11.73±0.48	12.15±1.52
	裂壶藻0.2%	裂壶藻0.5%	裂壶藻1.0%	裂壶藻1.5%	裂壶藻2.0%
粗蛋白	81.84±0.21	80.68±1.03	84.02±0.08	84.56±1.46	85.19±0.78
粗脂肪	14.40±0.22	14.51±0.21	15.91±0.33	15.03±0.15	15.50±0.52
水分	76.69±2.90	77.02±1.64	75.23±2.49	76.62±1.53	79.15±1.88
粗灰分	12.08±0.85	12.98±0.39	11.9±1.54	12.30±1.34	12.93±1.63
	小球藻0.2%	小球藻0.5%	小球藻1.0%	小球藻1.5%	小球藻2.0%
粗蛋白	82.78±0.21	83.25±1.10	85.02±0.27	86.35±1.35	84.09±0.66
粗脂肪	15.34±1.21	14.71±0.63	15.42±0.40	15.53±0.51	14.68±0.84
水分	77.69±0.96	78.34±0.99	79.37±1.09	78.92±1.37	79.53±1.08
粗灰分	11.87±1.54	12.57±2.31	12.09±1.24	12.18±2.41	12.67±0.83

2.2.3 牛蛙蝌蚪生长发育与饲料表现结果与分析

如表 10 所示, 养殖至第 6 周时, 65%以上的蝌蚪长出后肢芽。与对照组相比, 使用添加多个梯度 3 种不同藻粉的饲料投喂的牛蛙蝌蚪, 其增重率、特定生长率、饲料转化率和变态率存在显著性差异 ($P < 0.05$)。结果表明, 从蝌蚪孵化出膜至长出后肢芽这一阶段, 饲料中添加裂壶藻对蝌蚪的生长发育和饲料表现具有显著的促进作用, 其最佳添加比例为 1.5%。

表 10 3 种藻粉投喂 6 周对牛蛙蝌蚪生长发育性能和饲料表现的影响

项目	分组				
	对照组	螺旋藻1.0%	螺旋藻2.0%	螺旋藻4.0%	螺旋藻6.0%
增重率 (%)	2954.32±59.73 ^d	3491.85±67.91 ^c	3908.04±36.56 ^b	4482.21±22.98 ^a	3708.81±79.81 ^b
特定生长率 (%/天)	11.40±0.15 ^d	11.93±0.15 ^c	12.31±0.12 ^{ab}	12.75±0.11 ^a	12.13±0.15 ^{bc}

项目	分组				
饲料转化率	2.86±0.05 ^a	2.69±0.06 ^b	2.49±0.08 ^{cd}	2.35±0.04 ^d	2.58±0.06 ^{bc}
预变态率 (%)	65.71±1.29 ^c	68.57±1.99 ^{bc}	70.48±1.72 ^b	79.05±1.95 ^a	72.38±2.01 ^b
	裂壶藻0.2%	裂壶藻0.5%	裂壶藻1.0%	裂壶藻1.5%	裂壶藻2.0%
增重率 (%)	3479.77±186.29 ^d	3981.39±209.85 ^c	4574.22±51.24 ^b	5608.45±243.57 ^a	4284.14±104.01 ^b
特定生长率 (%/天)	11.92±0.13 ^b	12.36±0.13 ^b	12.81±0.13 ^{ab}	13.48±0.11 ^a	12.60±0.06 ^b
饲料转化率	2.72±0.08 ^{ab}	2.69±0.09 ^{ab}	2.64±0.04 ^b	2.33±0.06 ^c	2.54±0.04 ^b
预变态率 (%)	68.57±1.75 ^c	69.52±1.59 ^c	74.29±1.36 ^b	80.00±1.48 ^a	76.19±2.30 ^b
	小球藻0.2%	小球藻0.5%	小球藻1.0%	小球藻1.5%	小球藻2.0%
增重率 (%)	3538.23±65.73 ^c	3726.97±53.13 ^{bc}	4148.92±67.56 ^{ab}	4314.38±129.61 ^a	3829.74±37.8 ^b
特定生长率 (%/天)	11.97±0.15 ^{cd}	12.15±0.23 ^{bc}	12.49±0.14 ^{ab}	12.63±0.17 ^a	12.24±0.12 ^{ab}
饲料转化率	2.89±0.05 ^{ab}	2.75±0.05 ^{bc}	2.65±0.06 ^{cd}	2.36±0.03 ^c	2.53±0.05 ^d
预变态率 (%)	64.76±1.23 ^c	67.62±1.77 ^{cd}	68.57±1.29 ^{bc}	73.33±1.22 ^a	71.43±1.48 ^{ab}

如表 11 所示, 养殖至第 8 周时, 75%以上的蝌蚪四肢发育完成。与对照组相比, 使用添加多个梯度 3 种不同藻粉的饲料投喂的牛蛙蝌蚪, 其增重率、特定生长率、饲料转化率和变态率存在显著性差异 ($P<0.05$)。结果表明, 在整个蝌蚪期, 饲料中添加小球藻对蝌蚪的生长发育和饲料表现具有显著的促进作用。尤其在变态期, 添加小球藻对变态发育具有显著的促进作用。小球藻的最佳添加比例为 1.5%。

表 11 3 种藻粉投喂 8 周对牛蛙蝌蚪生长发育性能和形体指标的影响

项目	分组				
	对照组	螺旋藻1.0%	螺旋藻2.0%	螺旋藻4.0%	螺旋藻6.0%
增重率 (%)	12571.11±441.2 ^d	14252.9±377.3 ^c	14651.2±373.6 ^{ab}	15449.2±424.2 ^a	15020.8±457.6 ^{bc}
特定生长率 (%/天)	7.79±0.15 ^d	8.03±0.13 ^c	8.21±0.13 ^{ab}	8.30±0.13 ^a	8.13±0.14 ^{bc}
饲料转化率	2.52±0.03 ^a	2.46±0.03 ^b	2.37±0.05 ^{cd}	2.23±0.02 ^d	2.34±0.04 ^{bc}
变态率 (%)	65.71±2.85 ^b	70.48±3.73 ^{ab}	72.38±2.86 ^{ab}	79.05±3.54 ^a	78.57±3.88 ^a
	裂壶藻0.2%	裂壶藻0.5%	裂壶藻1.0%	裂壶藻1.5%	裂壶藻2.0%
增重率 (%)	15028.36±197.53 ^b	15127.35±85.10 ^b	15469.35±64.80 ^b	16173.45±202.30 ^a	15405.86±83.80 ^b
特定生长率 (%/天)	8.23±0.21 ^b	8.37±0.15 ^b	8.37±0.20 ^{ab}	8.42±0.17 ^a	8.40±0.21 ^b
饲料转化率	2.49±0.05 ^a	2.45±0.04 ^{ab}	2.42±0.03 ^{ab}	2.22±0.05 ^c	2.30±0.02 ^{bc}
变态率 (%)	70.83±3.00 ^b	72.50±3.82 ^b	76.67±3.33 ^{ab}	83.33±1.67 ^a	75.00±1.44 ^{ab}
	小球藻0.2%	小球藻0.5%	小球藻1.0%	小球藻1.5%	小球藻2.0%
增重率 (%)	14758.21±1614.9 ^b	15401.8±301.9 ^{ab}	16493.35±368.9 ^{ab}	17299.71±785.4 ^a	16222.87±245.6 ^{ab}
特定生长率 (%/天)	8.24±0.23 ^{cd}	8.34±0.12 ^{bc}	8.49±0.13 ^{ab}	8.58±0.16 ^a	8.46±0.12 ^{ab}
饲料转化率	2.49±0.01 ^{ab}	2.40±0.03 ^{bc}	2.34±0.01 ^{cd}	2.12±0.02 ^e	2.31±0.04 ^d

项目	分组				
变态率 (%)	72.62±2.63 ^b	75.33±2.51 ^b	81.43±2.73 ^{ab}	88.57±3.51 ^a	74.76±3.67 ^b

2.2.4 牛蛙蝌蚪生理生化指标结果与分析

对 3 种藻粉最佳添加比例的肠道样品进行生理生化测定, 结果见表 12。以未投喂藻粉的样品为对照, 添加 3 种藻粉的最佳梯度进行投喂, 显著增强了蝌蚪肠道的消化能力 (提高 α -淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活力)、吸收能力 (提高 Na^+, K^+ -ATP 酶、酸性磷酸酶、肌酸激酶活力) 和抗氧化能力 (提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力), 显著降低了肠道细胞膜损伤程度 (降低丙二醛含量) ($P < 0.05$), 保障肠道健康。其中, 投喂添加 1.5% 小球藻的饲料对肠道健康的促进作用最为显著。

表 12 3 种藻粉对牛蛙蝌蚪肠道生理生化指标的影响

项目	分组			
	对照组	螺旋藻4.0%	裂壶藻1.5%	小球藻1.5%
α -淀粉酶 (U/mg protein)	0.24±0.01 ^d	0.29±0.01 ^c	0.33±0.01 ^b	0.38±0.01 ^a
脂肪酶 (U/mg protein)	8.20±0.30 ^d	13.38±0.14 ^c	15.8±0.34 ^b	19.6±0.25 ^a
蛋白酶 (U/mg protein)	1.03±0.03 ^c	1.99±0.03 ^b	2.01±0.02 ^b	2.46±0.03 ^a
Na^+, K^+ -ATP 酶 (U/mg protein)	0.04±0.00 ^c	0.12±0.01 ^b	0.14±0.00 ^{ab}	0.16±0.01 ^a
酸性磷酸酶 (U/g protein)	55.28±0.18 ^c	63.28±0.91 ^{ab}	60.34±0.85 ^{bc}	68.83±0.57 ^a
肌酸激酶 (U/mg protein)	1.47±0.08 ^c	1.99±0.02 ^{ab}	2.06±0.04 ^a	2.12±0.03 ^a
超氧化物歧化酶 (U/mg protein)	555.75±5.33 ^c	629.39±9.12 ^{ab}	580.32±7.12 ^{bc}	669.74±11.9 ^a
过氧化氢酶 (U/mg protein)	10.35±0.17 ^d	12.92±0.16 ^b	11.35±0.07 ^c	14.01±0.07 ^a
丙二醛 (nmol/mg protein)	4.59±0.05 ^a	4.17±0.07 ^b	4.10±0.06 ^{bc}	3.68±0.05 ^d

以上结果表明, 饲料中添加藻粉对牛蛙蝌蚪生长、发育和肠道健康具有显著的促进作用。其中, 从蝌蚪孵化出膜至长出后肢芽这一阶段, 饲料中添加裂壶藻对蝌蚪的生长发育和饲料表现具有显著的促进作用, 其最佳添加比例为 1.5%。而在整个蝌蚪期, 饲料中添加小球藻对蝌蚪的生长发育、饲料表现和肠道健康具有显著的促进作用。尤其在变态期, 小球藻对生长和变态发育具有显著的促进作用, 其最佳添加比例为 1.5%。综上, 建议幼蝌蚪和小蝌蚪的饲料每千克搭配 12 g~18 g 裂壶藻粉, 中蝌蚪和大蝌蚪的饲料每千克搭配 12 g~18 g 的小球藻粉。

3. 牛蛙蝌蚪高效养殖技术

3.1 材料与方法

3.1.1 养殖场地与设施

试验地点为华南农业大学中山创新中心循环水养殖系统。养殖缸规格 1.80×0.60×0.55 m，缸体 566 L，水体 315 L，水深 30 cm。牛蛙蝌蚪高效养殖实验以玻璃缸作为养殖环境，主要结构有：物理过滤系统、生物净化系统、消毒系统、增氧装置、水质监测系统、吸污系统和智能监控系统。

3.1.2 水质管理与条件

通过砂缸过滤水泵、过滤潜水泵和过滤填充材料进行物理过滤去除水中大颗粒杂质；生物膜过滤降低水体中氨氮和亚硝酸盐的含量；紫外灯杀菌彻底杀灭水体中病原微生物；液氧快速增氧；水质监测系统与智能监控系统相结合形成的水产品质量安全可追溯系统，能够实时监测水体溶氧、氨氮、亚硝酸盐氮、pH 值等水质指标，当水质异常或停电能及时发出报警。

3.1.3 蝌蚪选择与放养

选择体型正常、体表无损有光泽、体质健壮的健康牛蛙蝌蚪（5 日龄，全长 1.62 ± 0.06 cm，体重 0.09 ± 0.04 g）。放养前一天先进行试水养殖，确认无异常后，将蝌蚪移入循环水养殖系统内养殖，放养数量为 315 尾/箱，放养密度 1 尾/升。

3.1.4 投喂管理

投喂粒径 0.5 mm 的粉状人工配合饲料，要求饲料营养全面、新鲜、不变质。幼蝌蚪和小蝌蚪每千克饲料搭配 12 g~18 g 裂壶藻粉投喂，中蝌蚪和大蝌蚪每千克饲料搭配 12 g~18 g 的小球藻粉投喂。坚持“四定”投喂原则。定时：每天投喂 4 次，从早上 6:00 到晚上 6:00 每 3h 投喂一次。定质：选购营养全面、质量保证的饲料，粗蛋白 $\geq 35\%$ 、粗脂肪 $\geq 5\%$ 。定量：具体饲料投喂量根据蝌蚪体重、摄食情况、天气情况等确定。定点：投喂位置要相对固定，便于蝌蚪摄食。

3.1.5 日常管理

每升水分别投放 20 mg 小球藻种改良水质，每 1 周~2 周投放 1 次，并根据水位和水质监测数据适时补换水，保持水质稳定。每 5 天测量蝌蚪的体重和体长，每次每缸随机抽取 30 尾，测量并计算全长和体重的平均值、增长率和增长趋势，记录发育期。每天检测水质，并做好各项生产记录，包括水质检测记录（水温、溶解氧、pH 值、氨氮、亚硝酸盐）、苗种放养记录、饲料用量记录、生产支出记录、渔药使用记录、死亡情况等，加强巡视工作，

观察蝌蚪活力情况和摄食情况。每 1 h~2 h 巡查养殖设备 1 次，确保设备正常运转。

3.1.6 变态期管理

蝌蚪长出后腿后，每缸放置 4 张 27 cm² 的单层蛙垫。蝌蚪长出前腿后，逐步减少饲料的投喂量。每次巡视时将四脚长成和尾巴消失的蝌蚪，从蝌蚪池捞出，统计体重并分级，并分到其它空缸中继续养殖。

3.1.7 数据处理

用 IBM SPSS Statistics V22.0 进行统计，统计值以平均值±标准误 (S.E.M) 表示。

3.2 结果与分析

3.2.1 水质参数结果与分析

如表 13 所示，每日水质参数统计分析结果显示，养殖过程水质参数基本保持稳定。

表 13 牛蛙蝌蚪养殖水质参数

参数	参数值
水压, mmHg	751.5±0.50
水温, °C	23.1±0.41
pH	7.86±0.72
溶解氧, mg/L	7.45±0.35
盐度, ppt	0.10±0.10
氨氮, mg/L	0.39±0.14
亚硝态氮, mg/L	0.07±0.02
硝态氮, mg/L	0.02±0.01
磷酸盐, mg/L	2.40±0.17
电导率, μS/cm	314.70±28.00
总溶解固体, mg/L	204.60±18.20
电阻率, kohm-cm	3.20±0.27
氧化还原电位, mV	78.70±7.60

3.2.2 生长发育趋势与分析

如表 14 所示，在室外蝌蚪池水温 23.1±0.41°C 和上述投喂条件下，从孵化出膜起，蝌蚪经 20 日及以上长至小蝌蚪，全长达到 4.73±0.09 cm，体重达到 1.09±0.17 g/尾；经 40 天及以上长至中蝌蚪，全长达到 8.65±0.21 cm，体重达到 6.46±0.34；经 60 天及以上长至大蝌蚪，全长达到 11.50±0.44 cm，体重达到 14.26±0.62；经 70 天全长达到 12.79±0.69 cm，体重达到 15.70±0.81，全长和体重达到峰值。此后开始进入变态高峰期，四脚长成，尾逐渐消失。变

态完成后的幼蛙全长约 4.20 ± 1.24 ，体重约 7.71 ± 1.53 。

表 14 牛蛙蝌蚪的生长发育情况

发育期	日龄 ^a	全长, cm	体重, g/尾
幼蝌蚪	0	1.37 ± 0.02	0.04 ± 0.01
	5	1.62 ± 0.06	0.09 ± 0.04
	10	3.14 ± 0.05	0.34 ± 0.07
	15	4.02 ± 0.09	0.60 ± 0.13
	20	4.73 ± 0.09	1.09 ± 0.17
小蝌蚪	25	5.51 ± 0.10	1.71 ± 0.17
	30	6.87 ± 0.14	2.94 ± 0.24
	35	7.55 ± 0.15	4.58 ± 0.28
	40	8.65 ± 0.21	6.46 ± 0.34
中蝌蚪	45	9.35 ± 0.24	7.87 ± 0.47
	50	10.12 ± 0.27	10.59 ± 0.49
	55	11.04 ± 0.37	11.91 ± 0.52
	60	11.50 ± 0.44	14.26 ± 0.62
大蝌蚪	65	12.16 ± 0.58	15.10 ± 0.74
	70	12.79 ± 0.69	15.70 ± 0.81
变态高峰期	75	8.70 ± 1.35	10.76 ± 0.58
	80	4.20 ± 1.24	7.71 ± 1.53

^a在室外蝌蚪池水温 $23.1\pm 0.41^{\circ}\text{C}$ 和对应投饲条件下，30 日龄蝌蚪出现后肢芽，45 日龄出现后肢，60 日龄出现前肢，70 日龄四肢完全形成，80 日龄尾消失。

3.2.3 牛蛙蝌蚪不同发育时期投喂量差异分析

如表 15 所示，在室外蝌蚪池水温 $23.1\pm 0.41^{\circ}\text{C}$ 和大致体重区间下，幼蝌蚪的投喂比例为 4.8%~6.0%，小蝌蚪和中蝌蚪为 6.0%~8%。当蝌蚪发育至变态高峰期前时，逐渐停止摄食。当四脚长成、尾部消失后，会逐渐恢复摄食。表 5 中投喂比例是实验过程中的实测值，生产实践中实际的投喂比例，需视实际蝌蚪质量、养殖条件、摄食情况和天气变化等因素而定。

表 15 不同发育阶段牛蛙蝌蚪的投喂比例

发育期	标准体重, g/尾	每千克重总尾数, 尾/kg	日投喂量占体重比 ^b , %
幼蝌蚪	0.04 ± 0.01	-	0
	0.09 ± 0.04	10074~19750	4.81
	0.34 ± 0.07	2971~3073	4.92
	0.60 ± 0.13	1589~1750	5.35
	1.09 ± 0.17	863~943	6.07

发育期	标准体重, g/尾	每千克重总尾数, 尾/kg	日投喂量占体重 ^b , %
小蝌蚪	1.71±0.17	561~610	6.09
	2.94±0.24	324~358	6.76
	4.58±0.28	210~228	7.26
	6.46±0.34	149~161	7.62
中蝌蚪	7.87±0.47	121~134	7.92
	10.59±0.49	91~99	8.05
	11.91±0.52	81~88	8.13
	13.26±0.62	67~73	7.83
大蝌蚪	14.10±0.74	63~70	0.78
	14.70±0.81	60~67	0.38
变态高峰期	9.76±0.58	88~98	0.56
	7.71±1.53	122~138	0.80

^b投料量是指在培肥蝌蚪池水的基础上的人工投喂量。

3.3 养殖成效

从孵化开始养殖 70 d~90 d, 75~80%个体可从刚出膜的蝌蚪 (0.04±0.01 g/尾), 养殖至变态完成的幼蛙 (7.71±1.53 g/只)。视养殖地区的温度和其它养殖条件, 全年可养殖 3~4 造牛蛙蝌蚪。

结果表明: 在适宜的养殖模式、养殖规格和环境条件下, 牛蛙蝌蚪养殖能取得较好的养殖成效。

(二) 技术经济论证

本标准结合牛蛙蝌蚪养殖产业的过程管理、生态养殖和环境保护等制定, 适用于解决现阶段牛蛙蝌蚪养殖营养不均衡、发育迟缓、品质低下、存活率低、水质污染及敌害生物入侵等问题, 从牛蛙蝌蚪养殖准备、苗种选择、养殖管理等一系列过程, 实现全过程的质量控制, 减少牛蛙蝌蚪养殖对环境的污染, 优化牛蛙蝌蚪养殖模式, 实现牛蛙蝌蚪的科学化、生态化养殖, 保障产品质量安全, 促进产业与环境的和谐共生。虽然本标准的实施在某些情况下会对部分企业或养殖户带来一定的额外成本负担, 但客观而言, 这些要求是确保质量安全的必须基础, 是减少牛蛙蝌蚪养殖带来的负面影响中至关重要的环节, 有助于维护生态平衡, 对于牛蛙养殖行业整体可持续发展是有益的要求, 符合可持续发展的理念。

(三) 预期经济效果

本标准制定的可以为我国牛蛙产业的苗种培育流程和苗种质量标准提供依据, 标准 (1) 确定牛蛙蝌蚪养殖水质调控和水质监测措施, 有利于进行水质管理; (2) 对牛蛙蝌蚪养殖

质量安全关键技术进行规范化，有利于提高存活率、降低畸形率、保障养殖户的利益以及保护生态环境；（3）规范牛蛙蝌蚪养殖的营养调配和敌害生物预防，提高蝌蚪质量。通过牛蛙蝌蚪养殖技术规范标准，提升牛蛙蝌蚪养殖经济附加值 20%以上，缓解目前的牛蛙蝌蚪营养不均衡、发育迟缓、品质低下、存活率低、水质污染及敌害生物入侵等问题，带动牛蛙蝌蚪产业融合和高质量发展。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度

通过资料调研，国外没有同类标准，本标准达到国际先进水平。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准遵循农业农村部等政府部门发布的相关政策、法规和标准，符合 GB 13078 饲料卫生标准、NY/T 455 绿色食品 渔药使用准则和 NY/T 4328 牛蛙生产全程质量控制技术规范等规定要求。本标准 and 我国颁布的有关现行法律、法规和强制性标准之间没有任何矛盾。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定的整个过程中，没有出现重大分歧意见。

七、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性行业标准。

八、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织实施、技术措施、过渡办法等）

本标准内容的至关重要性与全面性，它详尽地覆盖了牛蛙蝌蚪养殖的各个方面，为牛蛙蝌蚪生产的全过程质量控制提供了科学、系统的技术规范，建议在牛蛙蝌蚪养殖过程中作为指导性要求实施应用，各地在标准应用时出现的问题应及时反馈，以便修订时予以考虑采纳。建议本标准尽快于 2025 年 8 月发布，2026 年 1 月实施，通过媒体宣传、发放宣传资料、举办培训班、建立示范点、组织观摩学习、产业链合作等形式进行广泛宣贯。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无。

参考文献

- [1] 雷少斐.牛蛙产业绿色发展的三道关[N].农民日报,2023-09-21(006).
- [2] 高博.我国牛蛙产业现状及前景分析[D].集美大学,2017.
- [3] 张冠宏.水产养殖病害用药防治技术[J].渔业致富指南,2024,(06):65-66.
- [4] 周海林,曹文韬,王晓清,等.牛蛙的人工繁殖及蝌蚪培育技术[J].当代水产,2024,49(07):74-76+78.

标准起草工作组

2025年9月20日