

圈养亚洲象的饲养繁殖技术研究

刘安荣, 师婧*, 刘文荣, 宋伟斌, 王昂 (昆明动物园, 云南昆明 650021)

摘要 昆明动物园自 1978—2021 年饲养展出过 27 头亚洲象, 自 1986 年首次繁殖成功后, 自繁 18 胎, 成活 17 头, 成活率高达 94.44%, 在同行中亚象的饲养繁殖技术处于领先地位, 并向其他城市动物园输出过 7 头, 为亚洲象的异地保护作出杰出贡献。对亚洲象发情表现、怀孕母象的饲养管理及母象生产过程、产后母象的护理、幼象的饲养等进行总结, 仅供同行参考。

关键词 圈养亚洲象; 饲养繁殖; 管理

中图分类号 S86 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)13-0089-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Breeding and Propagation Techniques of Captive Asian Elephants

LIU An-rong, SHI Jing, LIU Wen-rong et al (Kunming Zoo, Kunming, Yunnan 650021)

Abstract Kunming Zoo has exhibited 27 Asian elephants from 1978 to 2021. After the first successful breeding in 1986, it has self-bred 18 litters and survived 17 with a survival rate of 94.44%. The breeding and propagation technology is in a leading position in the area. It has exported 7 elephants to zoos in other cities. It has made outstanding contributions to Asian elephants protection in long distances. This article summarized the estrus performance of Asian elephants, the feeding and management of pregnant female elephants, the production process of female elephants, postpartum female elephant care, and the feeding of baby elephants. It is for reference only.

Key words Captive Asian elephants; Breeding and propagation; Management

亚洲象(*Elephas maximus*)被世界自然保护联盟(IUCN)列为濒危(EN)等级物种,在我国亚洲象被列为国家Ⅰ级重点保护野生动物,主要分布于云南省西双版纳傣族自治州(景洪市、勐腊县和勐海县)、普洱市(思茅区、江城县、澜沧县、宁洱县、景谷县)和临沧市(沧源县)的少数地区^[1]。据 2019 年亚洲象种群数量动态调查,截至 2019 年亚洲象种群数量为 339 头,其中普洱 189 头^[2]、勐腊 74 头^[3]、勐海-普洱澜沧 19 头^[4]、江城-思茅-景洪交界 45 头^[5]、南滚河流域 12 头^[6],亚洲象种群数量总体上呈增长趋势。但由于农业生产、森林采伐等人类活动不断增加,现存亚洲象栖息地逐渐减少,破碎化现象严重,人象冲突日益凸显,中国野生亚洲象的生存状况依然面临极大挑战^[7]。圈养亚洲象仍是异地保护和科普教育的重要基地。昆明动物园自 1978 年后已经饲养展出过 27 头亚洲象,自繁自养 18 头,为同行动物园输出过 7 头,饲养繁殖技术在同行中处于领先地位,笔者总结了昆明动物园近 40 年饲养繁殖经验,供同行参考借鉴。

1 亚洲象场馆概况

昆明动物园位于昆明市中心,四季如春,全年温差较小,园内全年平均气温在 15~22℃,园区占地面积 23.6 hm²,饲养展出陆栖野生动物 182 种 2 500 只(头),其中园内除亚洲象外还有滇金丝猴(*Pygathrix bieti*)、白眉长臂猿(*Hylobates hoolock*)、白颊长臂猿(*Hylobates leucogenys*)等特色动物。

亚洲象馆位于昆明动物园的西北方向,经过多次的改扩建,现有 3 座象舍,内室 10 余间约 1 000 m²,内舍用钢管隔离,象群可相互接触。展示区 3 块约 1 500 m²,水池面积约 100 m²,展示区均为泥土地面且有沙池,四周以铁栏杆、电网

围住,栏杆高约 1.8 m,上部无顶,外围有壕沟。

2 亚洲象繁殖情况及繁殖种群

2.1 亚洲象繁殖情况 昆明动物园现饲养展出亚洲象 11 头,5♂6♀。自 1986 年“亚昆”由母象入园时怀孕带入,在昆明动物园出生并饲养成活后,1990—2021 年自繁 18 胎,成活 17 头,成活率高达 94.44%。其中子一代出生 9 头,成活 9 头,成活率达 100%。2006 年子二代“亚明”16 岁首次繁殖,产仔后母象没有哺乳经验,幼象人工育幼 7 d 后死亡。在 2009、2012 和 2017 年“亚明”再次生产并成功育幼成活 3 头。2021 年 9 月 28 日在园内自繁的 17 岁子二代“昆琨”首次繁殖 1 只小公象,母象“昆琨”已经从母亲“莫坡”那里学会哺育经验,整个生产过程独自完成,没有人为干预,幼象健康状况良好。

“亚明”和“昆琨”的顺利繁殖,再次证明亚洲象在圈养条件下是可繁可养的、可持续发展的。圈养亚洲象的繁殖间隔 3~5 年,怀孕期 21~23 月。具体情况见表 1。

2.2 亚洲象繁殖种群 亚洲象繁殖种群情况:1986—2000 年主要以种公象“盈昆”和母象“亚隆”“向东”形成 1♂2♀的繁殖种群,繁殖 6 只幼象;2000 至今主要以种公象“中波”和母象“莫波”“亚明”形成稳健的 1♂2♀的繁殖种群,至 2021 年已经繁殖 9 只幼象;2018 年 4 月通过动物交换引进 1 头种公象“九班”(约 30 岁)和母象“昆琨”于 2021 年 9 月 28 日首次繁殖成功,今后“九班”将和“昆琨”(17 岁)“亚灵”(9 岁)、“莫嘉”(9 岁)组建更年轻的繁殖种群,现已形成 2♂5♀的繁殖种群。具体情况见表 2。

3 成年亚洲象的饲养管理及饲喂情况

3.1 成年亚洲象的饲养管理 圈养亚洲象比较适应的温度是 20~30℃。在不下雨及室外温度不低于 10℃时,每天 09:00~17:00 成年亚洲象都于群居形式外放展出。成年亚洲象一般不建议单独饲养,以 1♂2♀或者 1♂3♀形成 3~4

作者简介 刘安荣(1984—),男,云南宣威人,工程师,从事野生动物保护与繁殖利用研究。*通信作者,工程师,硕士,从事野生动物保护与繁殖利用研究。

收稿日期 2021-08-03;修回日期 2021-11-01

头群居小种群为最佳。圈养亚洲象群居群养对于象群社交行为、学习行为、繁殖行为等至关重要^[8]。对圈养亚洲象而言,彼此之间的社交互动可能是最持续长久的环境丰容形式。象舍室内温度一般控制在 20~25 ℃,冬季室内温度低于 10 ℃时开启保温设施。展区地面为泥土或者全沙池为最佳,

可有效避免象腿部疾病的发生^[9];展区内有一定面积的水池和简易丰容物,可有效较少象的刻板行为的发生^[10]。日常清洁采取完全隔离操作,训练及疾病治疗可采取保护性接触操作,可有效防止安全事故的发生。

表 1 1986—2021 年圈养亚洲象的繁殖情况
Table 1 The Asian elephant captive breeding from 1986 to 2021

出生日期 Date of birth	呼明 Call name	性别 Sex	父本 Male parent	母本 Female parent	来源 Source	备注 Remarks
1986-03-16	亚昆	♂	野外不详	亚隆	母象带入	F ₁ (1993 年交换至济南动物园)
1990-01-16	亚明	♀	盈昆	亚隆	园里自繁	F ₁ (昆明动物园存活至今)
1990-05-02	冠南	♀	盈昆	向东	园里自繁	FD1(2005 年在昆明动物园死亡)
1993-03-10	亚然	♀	盈昆	亚隆	园里自繁	F ₁ (1995 年交换至上海动物园)
1994-02-14	东东	♂	盈昆	向东	园里自繁	F ₁ (交换至北京动物园)
1996-09-24	亚雄	♂	盈昆	亚隆	园里自繁	F ₁ (1997 年在昆意外死亡)
1997	莫坡仔	♂	野外不详	莫坡	园里自繁	F ₁ (1998 年交换至南宁动物园)
2004-04-30	昆琨	♀	中波	莫坡	园里自繁	F ₁ (昆明动物园存活至今)
2006-08-05	未命名	♂	中波	亚明	园里自繁	F ₂ (出生 7 d 死亡)
2007-10-20	奥宝	♀	中波	莫坡	园里自繁	F ₁ (2014 年交换石家庄动物园)
2009-02-27	亚楠	♂	中波	亚明	园里自繁	F ₂ (2020 年交换至西双版纳)
2012-03-31	亚灵	♀	中波	亚明	园里自繁	F ₂ (昆明动物园存活至今)
2012-06-16	莫嘉	♀	中波	莫坡	园里自繁	F ₁ (昆明动物园存活至今)
2016-03-20	莫莉	♀	中波	莫坡	园里自繁	F ₁ (2018 年交换至河南焦作)
2017-05-20	520	♂	中波	亚明	园里自繁	F ₂ (昆明动物园存活)
2020-06-10	欣愿	♀	中波	莫坡	园里自繁	F ₁ (昆明动物园存活)
2021-09-28	未命名	♂	九班	昆琨	园里自繁	F ₂ (昆明动物园存活)
2021-10-15	未命名	♂	中坡	亚明	园里自繁	F ₂ (昆明动物园存活)

表 2 1978—2021 年繁殖种群情况
Table 2 Breeding population from 1978 to 2021

序号 No.	呼明 Call name	出生日期 Date of birth	性别 Sex	父本 Male parent	母本 Female parent	来源 Source	备注 Remarks
1	盈昆	约 1975 年	♂	野外	野外	野外盈江	繁殖 5 胎,1997 年在昆明死亡
2	亚隆	约 1960 年	♀	野外	野外	野外	繁殖 4 胎 2017 年交换至西双版纳
3	向东	约 1980 年	♀	野外	野外	野外	繁殖 4 胎 1995 年交换上海野生动物园
4	中波	约 1983 年	♂	野外	野外	野外普洱	现已繁殖 10 胎现生活昆明动物园
5	莫坡	约 1982 年	♀	野外	野外	野外瑞丽	现已繁殖 6 胎现生活昆明动物园
6	亚明	1990 年 1 月 16 日	♀	盈昆	亚隆	园里自繁	现已繁殖 5 胎现生活昆明动物园
7	昆琨	2004 年 4 月 30 日	♀	中坡	莫坡	园里自繁	17 岁首次繁殖生活在昆明动物园
8	九班	不详	♂	不详	不详	交换引进	2018 年从河南焦作引进

3.2 成年亚洲象的饲喂情况 每天在 09:00、10:30、14:00、17:00、20:30 分 5 个阶段定时定点饲喂,成年象每次每头饲喂量在 20~25 kg,每天的总量在 100~150 kg,其中青绿饲料如象草、芦苇、甘蔗约占 90%,其余饲料占 10%。春、夏季以象草、芦苇为主,秋、冬季节以甘蔗为主,外加稻草、苹果、西瓜、香蕉、莴笋、莲花白、红萝卜、适量颗粒料等,投料时要注意分散投喂。若成年象群的主食以象草、芦苇、甘蔗等青绿饲料为主,则每天投喂 2~3 kg 干稻草有利于象排便,主饲料的干湿结合,可有效预防象肠梗阻的发生。成年象每月定期饲喂 21 金维他、钙片、磨碎的舔砖,可有效补充矿物质元素和微量元素。

4 亚洲象发情表现及合笼交配

4.1 亚洲象发情表现 公象发情时脸颊两侧眼睛后方的腺

体会分泌液体,生殖器流出液体,眼睛充血,额头中部凸起拳头大小的包,食欲减退,性情暴躁,公象的发情表现较为明显,发情期 0~30 d。母象发情时脸颊两侧眼睛后方的腺体也会分泌液体,阴道口有分泌物,母象会主动靠近公象,配合公象的交配行为,母象发情期 0~14 d。

4.2 亚洲象的合笼交配 公母象都有发情表现时可合笼交配,在合笼后 1~3 d,公象每天爬跨交配 3~6 次,每次 0~1 min,3 d 后交配次数逐渐减少。母象怀孕后,公象再次发情时,母象就不再配合公象交配。合笼头 1 年公母象可一起展出,但在内室各自单独饲养,防止公象霸食。经过多年观察公母象发情的前 7 d 合笼母象怀孕概率较大。

特别要注意公象发情期的饲养管理,公象发情时,性情暴躁,食欲锐减,有较强的攻击性和破坏性。若没有母象与

之交配,公象的发情期会延长,此时建议单独饲养,隔离操作。

5 怀孕母象的饲养管理及母象生产过程

5.1 怀孕母象的饲养管理 亚洲象的怀孕周期为 21~23 月,怀孕母象在 12~15 月腹部有明显的凸起,母象行动比较谨慎,怀孕母象与公象隔离展出,以免公象发情时强行交配,或抢食物。怀孕母象可以与其他母象或者幼象群居饲养展出。

怀孕母象 12~23 月期间要保证充足的食物,每日主要以青绿饲养如象草和甘蔗为主,每日量在 100~120 kg;适当增加多汁水果蔬菜如苹果、胡萝卜、西瓜、莴笋等,每日量在 20~30 kg;草食动物颗粒料 1~2 kg;稻草 2~3 kg。每 7 d 定期饲喂 21 金维他 100 片、钙片 100 片、复合维生素 100 片,以补充微量元素和矿质元素,并保持笼舍清洁干净且定期消毒。

5.2 母象生产过程 怀孕母象在产前 1~2 月乳房持续变大,若挤压乳房会有黄色乳汁流出,腹水显现。产前 7 d 左右,子宫会流出胶状黏液,此时要做好待产准备,产舍彻底消毒,并铺稻草或者铺垫沙子,24 h 不间断监控,笼舍保持安静。

有生产经验的母象生产过程一般 0~20 min 完成。2017 年 5 月 20“亚明”和 2020 年 6 月 10 日“莫坡”生产过程都是一瞬间,0~1 min 完成,胎盘 5~10 h 脱落。2007—2020 年“亚明”和“莫坡”的生产过程都是独立完成,基本没有人为干预。

幼象出生后,母象会在第一时间用腿和鼻子,如用腿踢、用鼻子撕、跪下用头推等方式帮助幼象去掉胎衣,让幼象顺畅呼吸。幼象胎衣脱落后,母象会用鼻子和腿帮助幼象站立,经过多年观察,幼象的站立时间 0.5~3.0 h。幼象出生后 3~10 h 会吃上初乳,若 12 h 后还没有吃上初乳则需要人为干预。幼象尽早站立和尽早吃到初乳至关重要。经过多年观察,母象随着产仔数量的增多,生产经验越来越丰富,生产时间越短,幼象站立时间越短,幼象吃上初乳的时间越短,幼象成活率越高。

6 产后母象的护理及管理

母象生产过程会消耗大量能量,身体虚弱。母象产后 0~14 d,温开水 30~50 L 冲 10 kg 红糖粉和 1 kg 中医益母草颗粒饲喂母象,早晚各 1 次;产后 14~30 d 温开水 20~30 L 冲 10 kg 红糖粉,早晚各 1 次。中医益母草颗粒能促进母象子宫收缩,排出宫腔里残留的血液和恶露,红糖水能帮助母象快速恢复体力。

幼象 0~90 日龄是母象哺育的关键时期,要保证母象有充足的营养。每日投喂多汁水果蔬菜 30~40 kg,青绿饲料 120~150 kg,颗粒料 2~3 kg,稻草 2~3 kg。母象及幼象单独饲养,禁止展出,谢绝外来人员参观。

幼象 0~30 日龄,母象行为非常谨慎,母象基本不卧躺睡觉,基本是站立睡觉,随时观察幼象行为。90 日龄后幼象逐渐长大,母象也进入相对安全适应的哺乳期,此时可以适当增加母象及幼象的活动量,选择适宜的温度让母象带幼象走

出内室,到展示区晒太阳,此过程要循序渐进,慢慢尝试。幼象 1.5 岁后,母象可按照常规饲养。

7 幼象的饲养管理及行为观察

幼象出生后 0~24 h 是最关键的时期,幼象在出生后 0.5~3.0 h 能站立,3~10 h 能吃上初乳,每隔 30~60 min 吃一次奶,每次吃奶时间 10~60 s。幼象 0~30 日龄,每日主要的行为是吃奶 10~15 次;睡觉 8~10 次,每次 3~30 min,站立睡觉居多,少量时间卧躺。幼象出生 7 d 后要观察脐带是否脱落,并用碘伏喷擦脐带,防止脐带发炎。象舍要保温透气,温度控制在 20~25 ℃。

幼象在 2~3 月龄开始学习用鼻子饮水,会进食香蕉和小块苹果,6 月龄后能完全掌握用鼻子饮水,1 周岁后会进食甘蔗、象草等食物。幼象在 0~3 月龄比较胆小,仅在母象身边活动,3~6 月龄后活动范围及活动量有所增加,可逐渐跟随母象走出内室。1 周岁后幼象将逐渐适应展区生活,1.5~2.0 周岁幼象可断奶,2~3 周岁幼象可隔离母象和其他幼象单独饲养。

8 疾病防控

亚洲象有较强的抗病能力,一般不会发生疾病,主要疾病有腿部疾病、呼吸道疾病、消化道疾病和外伤。常见的主要是腿部疾病如风湿性关节炎,用松节油效果较好,保持笼舍及展区干燥可有效预防腿部疾病。成年象偶尔会出现消化不良等症状,可用促消化的药物如保济丸、乳酶生、益生菌、健胃消食片等可治愈。感冒发烧可用克感敏、抗生素等药物治疗,严重时需要肌注或者输液。

9 讨论

9.1 亚洲象的生产过程与象群学习有关 亚洲象是群居动物,生活技能、繁殖行为、哺育行为、社交行为等都是通过学习掌握的,群居学习环境对圈养亚洲象至关重要。特别是繁殖行为和哺育行为更加明显,近 30 年昆明动物园每隔 1~3 年都有幼象出生,且都是在同一座象舍生产,母象之间有不间断的学习哺育机会。根据多年观察发现,母象随着年龄的增长和产仔数的增加,哺育幼象的经验越丰富,生产过程越顺利,人为干预就越少。2006 年“亚明”首次生产,幼象出生后母象表现惊慌失措,非常害怕,没有哺育经验,幼象出生后 7 d 死亡,但第 2 胎幼象哺育成活,到第 4 胎已经有丰富的哺育经验。2021 年 9 月 28 日园内自繁的 17 岁“昆琨”首次繁殖,整个生产过程独立完成,全程无人为干预。从整个生产过程来看,母象“昆琨”已经从母亲“莫坡”和母象“亚明”那里学会哺育,能熟练地用鼻子和腿帮助幼象站立,并配合幼象尽快吃到初乳。母象的生产经验得到有效的继承。

9.2 公象的繁殖力有很大差异 圈养亚洲象的繁殖交配对象可能有一定的选择性。2016 年昆明动物与西双版纳热带动物园联合繁殖,母象“阿莲”与种公象“中波”合笼饲养 1 年,期间“中波”发情多次,但一直没有与“阿莲”交配。“中波”表现出对“阿莲”不感兴趣,还意外伤到母象“阿莲”,最终导致联合繁殖失败。原因也有可能是“阿莲”还没有性成熟,或者“阿莲”不配合公象交配。公象对交配对象是否有选

择性还需要很多数据支持。

公象的交配行为如爬跨行为同样需要学习。昆明动物的公象“邓丹”与母象“昆琨”一起饲养多年,但“邓丹”一直没有繁殖成功,期间有爬跨行为,生殖器也会勃起,但进入不了母象阴道,始终没有繁殖成功,“邓丹”会自慰出精液。“邓丹”在幼年时期服过劳役,在昆明动物园成年后,1999—2004年驯化参与照相经营项目,与其他象群没有过多的机会接触,导致繁殖年龄交配行为受阻。公象的繁殖行为是否与劳役行为有关还需要更多数据支持和研究。

9.3 安全教训 昆明动物园在近 20 年中发生过 2 次亚洲象严重伤人事件,2004 年 8 月 8 日饲养员在清理大象内舍时被公象袭击身亡,2013 年 2 月 19 日饲养员在小象房内室时突发意外,被母象踩死。2 次血的事故使我们总结很多经验教训:日常卫生清理严格执行隔离操作,如需治疗、训练等时采取保护性接触,禁止直接接触操作;不断改善笼舍机构,使其使用时更加科学合理;加强象的日常行为观察,掌握每头象的生理习性;象舍内外全方位无死角监控,提高突发事件处理能力和预见能力;加强培训提高操作人员安全意识和心理素质等。近年来时常有象伤人事件的报道,原因多为违反操作流程,直接接触操作所致。

9.4 制约圈养亚洲象可持续发展的原因分析 国内圈养亚洲象的存栏量有限,各公园都把亚洲象当作宝贝,国外进口困难种种,致使亚洲象种源交换困难。笔者认为加强各公园的信息交流,充分发挥各公园资源优势,采取联合繁殖可有效解决种源匮乏的困境。其次是圈养亚洲象的场馆面积总体偏小、笼舍陈旧、资金短缺等现实问题同样制约圈养亚洲象的可持续发展。建议相关政府部门借鉴大熊猫的保护经验,把异地保护圈养亚洲象纳入政府财政专项资金,以此解决场馆面积小、笼舍设施陈旧等问题,还可以考虑建立亚洲象繁殖基地,发展壮大圈养亚洲象种群。

9.5 经验

(1)常年能提供青绿饲料如象草、甘蔗、芦苇对圈养亚洲象至关重要,特别是甘蔗能为亚洲象提供充足的能量。

(2)圈养亚洲象群居群养非常重要,一般形成 1 ♂ 2 ♀ 或

者 1 ♂ 3 ♀ 的繁殖种群最佳。

(3)象群之间的繁殖交配行为和哺育行为需要不间断的学习和传承。

(4)母象产后喂中医益母草颗粒对母象子宫恢复效果较好,喂红糖粉对母象体质恢复效果较好。

(5)幼象出生后,母象会在第一时间用腿和鼻子帮助幼象去掉胎衣,让幼象顺畅呼吸。并用腿和鼻子帮助幼象站立,尽量减少人为干预。

(6)幼象出生 0~24 h 是最关键时期,幼象在出生后 0.5~3.0 h 能站立,3~10 h 能吃上初乳,幼象尽早站立和吃上初乳至关重要。

(7)幼象 0~30 日龄对母象和幼象都是关键的哺育期,加强对母象的营养供给,保温保暖很关键。

(8)幼象出生 7 d 后要观察脐带是否脱落,防止脐带发炎。象舍要保温透气,温度控制在 20~25 ℃。

(9)隔离操作和保护性接触是确保圈养亚洲象安全操作的有效措施。

(10)圈养亚洲象的怀孕期为 21~23 月,繁殖间隔 3~5 年,幼象 1.5~2.0 岁断奶为最佳。

参考文献

- [1] 赵宇,金崑. 亚洲象分布、数量、栖息地状况及种群管理[J]. 世界林业研究,2018,31(2):25-30.
- [2] 朱高凡,郑璇,吕婷,等. 西双版纳-普洱亚洲象种群动态分析[J]. 林业建设,2019(6):85-90.
- [3] 吕婷,郑璇,朱高凡,等. 西双版纳勐腊亚洲象种群数量动态分析[J]. 林业建设,2019(6):91-96.
- [4] 王智红,张恒振,赵文蓝,等. 西双版纳勐海-普洱澜沧亚洲象种群动态分析[J]. 林业建设,2019(6):79-84.
- [5] 蒋桂莲,朱高凡,汤永晶,等. 云南江城-思茅-景洪交界亚洲象种群数量及结构分析[J]. 林业建设,2019(6):74-78.
- [6] 汤永晶,王志胜,蒋桂莲,等. 云南南滚河流域亚洲象种群动态分析[J]. 林业建设,2019(6):97-102.
- [7] 林柳,张龙田,罗爱东,等. 尚勇保护区亚洲象种群数量动态、种群结构及季节分布格局[J]. 兽类学报,2011,31(3):226-234.
- [8] 刘文荣,刘美艳. 行为管理在圈养亚洲象饲养管理中的作用探讨[J]. 安徽农业科学,2022,50(1):96-98,101.
- [9] 郭瑞,胡俊,朱瀚青,等. 圈养亚洲象的足部护理[J]. 畜牧兽医科技信息,2019(1):145-146.
- [10] 孙伟东,梁作敏,尹军力. 环境丰容对圈养亚洲象行为的影响[J]. 畜牧与兽医,2013,45(7):34-35.
- [11] 王金霞,孔德杰,尹志荣. 农作物秸秆主要化学组成及还田后对土壤质量提升影响的研究进展[J]. 北方园艺,2020(5):146-153.
- [12] 王小娟,李培培,袁旭峰,等. 4 组常温分解小麦秸秆复合菌系的比较研究[J]. 中国农业大学学报,2011,16(1):24-29.
- [13] 梅新兰,郑海平,李水仙,等. 降解水稻秸秆细菌-真菌复合菌系的构建与评价[J]. 农业环境科学学报,2021,40(10):2217-2225.
- [14] 刘东阳,王蒙蒙,马磊,等. 高效纤维素分解菌的分离筛选及其分解纤维素研究[J]. 南京农业大学学报,2014,37(6):49-58.
- [15] 王伟,郑大浩,杨超博,等. 高效纤维素分解菌的分离及秸秆降解生物效应[J]. 中国农业科技导报,2019,21(8):36-46.
- [16] 苏鑫,王敬红,张方政,等. 复合菌系降解玉米秸秆过程中群落演替与秸秆降解的关系[J]. 微生物学报,2020,60(12):2675-2689.
- [17] 孙苗苗,李娟,刘国庆,等. 木质纤维素降解复合菌系筛选与鉴定[J]. 湖北农业科学,2021,60(16):44-49.
- [18] WANG W D, YAN L, CUI Z J, et al. Characterization of a microbial consortium capable of degrading lignocellulose[J]. Bioresource technology, 2011, 102(19):9321-9324.
- [19] 王光琴,黄莺,温明霞,等. 5 株纤维菌属菌株的分离、鉴定及产酶活性研究[J]. 中国农学通报,2021,37(15):112-119.
- [20] 崔宗均,李美丹,朴哲,等. 一组高效稳定纤维素分解菌复合系 MC1 的筛选及功能[J]. 环境科学,2002,23(3):36-39.
- [21] 陈文新. 土壤和环境微生物学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1990:91-94.
- [22] 江高飞,杨天杰,郑海平,等. 降解玉米秸秆真菌复合菌系的构建及其降解效果评价[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(2):284-292.
- [23] 李静,张瀚能,赵翀,等. 高效纤维素降解菌分离筛选、复合菌系构建及秸秆降解效果分析[J]. 应用与环境生物学报,2016,22(4):689-696.
- [24] 陈世珩,吕兆丰,王道武,等. 耐低温降解玉米秸秆复合菌剂的构建及其降解效果评价[J]. 安徽农业科学,2022,50(4):64-68.
- [25] 侯敏,包慧芳,王宁,等. 棉秆纤维素降解菌系构建及固体发酵条件优化[J]. 新疆农业科学,2018,55(5):936-948.
- [26] 余淼. 产蛋白酶霉菌的分离鉴定、蛋白酶基因 cDNA 克隆及产酶条件优化[D]. 成都:西南民族大学,2013:43.

(上接第 71 页)

参考文献