



麝类动物因产麝香而闻名，现存 1 科 1 属，各物种的分类还存在争议，目前国际上认可的有原麝、林麝、马麝、喜马拉雅麝、黑麝、安徽麝和克什米尔麝，在中国分布的麝类动物全部被列为国家一级重点保护野生动物。麝类动物雌雄个体均不具角，雄性具发达的獠牙和麝香腺。麝香香味独特、弥久，被誉为四大动物香料之首，在国外香料行业和我国传统医学中具有重要的应用价值。我国麝香的应用可追溯至汉代，从东汉的《神农本草经》，唐代的《新修本草》《千金翼方》，宋代的《香谱》《本草图经》，元代的《御药院方》，明代的《本草纲目》，清代的《医方集解》，至现代的《中华人民共和国药典》和《全国中成药处方集》等典籍，均记载有麝香的药效、炮制方法和配方等。因此，麝类动物始终承受着不同程度的被盗猎压力。

麝类动物是比较古老的类群，仅见于亚洲，涉及俄罗斯西伯利亚地区，蒙古国，中国东北、华北、西北和西南地区，朝鲜，韩国，印度，缅甸，不丹，尼泊尔等地。历史上，麝类在我国广泛分布，但由于受无计划和无监管的盗猎、走私及栖息地退化（或丧失）和气候变化等复杂因素的影响，21 世纪初全国普查显示麝类数量为 6 万～7 万只，大多数种群呈孤岛状分布，其中，马麝作为麝类中体型较大的一种，为 1.93 万～2.32 万只。至此，再无全面系统的调查，种群现状不明。马麝主要分布于青藏高原及毗邻的山地地带，作为其分布区域的东部边缘，贺兰山具有典型的高寒山地生态特征，是马麝栖息的关键边缘生境之一。该区域不仅代表了马麝在边缘生态位上的适应能力，同时也是评估种群边缘稳定性和扩散潜力的重要窗口。

贺兰山地处银川平原和阿拉善高原交界处，山体狭长，呈带状，绵延超 200 km，东西坡自然环境差异明显，最高峰敖包圪塔 3556.1 m。贺兰山是我国少有的东北—西南走向的山脉，地理区位特殊，四周被黄河、城市和沙漠（腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和毛乌素沙地）阻隔，成为与周围地区隔离的“生态孤岛”。其中生存的马麝属于局域隔离种群，分布范围狭窄，且种群数量一直处于历史最低水平。面对如此窘迫的种群现状，贺兰山马麝种群拯救性保护与调查研究工作刻不容缓。2003 年，我开始在贺兰山开展岩羊种群生态学研究，逐渐拓展至有蹄类。此后至今，带领我的研究团队积累和掌握了一些关于有蹄类动物的生态学研究资料。其中，有三位博士生接续系统地探究了马麝的生理生态和遗传学现状，资料丰富、基础扎实。基于此，我们整合了贺兰山马麝的所有研究成果形成此书，旨在呈现岛屿生境下麝类的种群生态学现状，为其他麝类或珍稀濒危野生动物的保护提供参考。

全书共分 10 章内容, 第 1 章概述了马麝及麝类动物现状(刘振生、梁军撰写); 第 2 ~ 4 章分别讨论了贺兰山马麝的种群现状、微生境选择和生境适宜性等宏观生态学的内容(张致荣、赵唱撰写); 第 5 ~ 7 章分别探讨了贺兰山马麝的食性、营养及肠道微生物适应性(滕丽微、赵唱、孙玉姣、张致荣撰写); 第 8 ~ 9 章从群体遗传学的角度, 探讨了贺兰山马麝的种群遗传学现状和扩散模式(刘振生、张致荣撰写); 第 10 章基于前面章节的研究结果, 主要论述了针对贺兰山马麝的保护与管理规划(胡天华、梁咏亮撰写)。本书由刘振生、滕丽微和张致荣共同统稿和修订, 正文图片与附图由张致荣绘制和修改。

在本书成文的过程中, 得到了诸多专家的指导和建议, 他们是东北林业大学的吴建平教授、上海科技馆的王小明教授、南京林业大学的鲁长虎教授、中国科学院西北高原生物研究所的张同作研究员、西北大学的郭松涛教授、华东师范大学的王正寰教授等。野外调查工作得到了宁夏回族自治区贺兰山国家级自然保护区管理局、内蒙古贺兰山国家级自然保护区管理局和宁夏森林病虫害防治检疫总站工作人员的无私帮助, 他们是王兆锭、苏云、张继武、徐建国、王晓勤、阿丽玛、王继飞、李静尧、王卫东、余梦琦等。本研究工作获得了国家自然科学基金面上项目(32071649)和宁夏贺兰山马麝种群调查监测专项(D6400000141009056_2)的支持, 在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限, 尽管进行了多次修订, 书中还可能存在诸多疏漏之处, 期望从事珍稀濒危野生动物保护与研究的学术界同仁和广大读者批评指正。

刘振生 博士 / 教授

东北林业大学野生动物与自然保护地学院

2026 年 1 月



第 1 章 马麝与麝类概况	1
1.1 马麝	2
1.1.1 马麝的一般特征	2
1.1.2 马麝的空间分布	2
1.1.3 马麝的亚种分化	2
1.2 麝科动物的分类系统	3
1.2.1 中国的麝科动物	3
1.2.2 麝类分类演变历史	3
1.3 麝类种群现状	4
1.4 麝类家域及栖息地	5
1.4.1 麝类家域大小	5
1.4.2 麝类生境选择	6
1.4.3 麝类栖息地适宜性	7
1.5 麝类保护现状	7
1.5.1 经济价值及面临的威胁	7
1.5.2 政策法规的实施	8
参考文献	9
 第 2 章 贺兰山马麝种群的数量和分布	12
2.1 贺兰山马麝种群监测技术	13
2.1.1 样线法	13
2.1.2 红外相机法	14
2.2 贺兰山马麝种群数据处理	16
2.2.1 分布范围的确定	16
2.2.2 种群数量的估计	16
2.3 贺兰山马麝生态现状	17
2.3.1 空间分布格局	17

2.3.2 种群数量估计	19
2.3.3 影响因素	19
2.3.4 人为干扰	21
2.4 贺兰山马麝种群动态分析	22
2.4.1 马麝种群数量监测方法探讨	22
2.4.2 马麝种群分布	23
2.4.3 马麝种群数量变化	23
2.4.4 马麝种群影响因素分析	24
参考文献	24
第3章 贺兰山马麝的微生境	26
3.1 贺兰山马麝微生境监测技术	27
3.1.1 样线设置	27
3.1.2 样方设置	27
3.1.3 生态因子选择及测定	28
3.2 贺兰山马麝的微生境数据处理	29
3.2.1 非数值因子	29
3.2.2 数值因子	29
3.2.3 独立样本	29
3.2.4 Marcum 法的应用	29
3.3 贺兰山马麝的微生境选择	29
3.3.1 春季微生境选择	29
3.3.2 夏季微生境选择	31
3.3.3 秋季微生境选择	33
3.3.4 冬季微生境选择	34
3.3.5 枯草期和青草期的生境差异	36
3.4 贺兰山马麝栖息地选择与动态变化	37
3.4.1 马麝栖息地选择的季节性	37
3.4.2 马麝枯草期与青草期栖息地选择	38
参考文献	39
第4章 贺兰山马麝的生境适宜性	40
4.1 贺兰山马麝的生境数据采集及处理	41
4.1.1 MaxEnt 模型的应用	41
4.1.2 样线布设	41
4.1.3 数据的提取	42
4.1.4 模型检验与生境等级划分	42
4.2 贺兰山马麝的生境适宜性评价	43
4.2.1 MaxEnt 模型预测	43

4.2.2	环境变量对贺兰山马麝分布的影响	43
4.2.3	贺兰山马麝生境适宜性分布	45
4.3	贺兰山马麝生境评价及保护策略	46
4.3.1	生态因子的选取及评价	46
4.3.2	生态位模型的选用与模型数据的输入	46
4.3.3	贺兰山马麝的保护建议	47
	参考文献	48

第 5 章 贺兰山马麝的食性50

5.1	粪便显微分析法在马麝食性研究中的应用	51
5.1.1	粪便显微分析法的原理	51
5.1.2	马麝的食物和粪便样品获取	51
5.1.3	显微装片的制备	52
5.1.4	显微装片的镜检和物种鉴定	52
5.2	贺兰山马麝的食物数据处理	52
5.2.1	镜检结果计算与分析	52
5.2.2	食物组成及多样性分析	53
5.3	贺兰山马麝的食物组成及差异	53
5.3.1	春季的食物组成	53
5.3.2	夏季的食物组成	55
5.3.3	秋季的食物组成	58
5.3.4	冬季的食物组成	59
5.3.5	食物组成的季节性	62
5.4	贺兰山马麝食物适应性及数据优化	63
5.4.1	粪便显微分析法误差及改进策略	63
5.4.2	贺兰山马麝对食物的适应	64
	参考文献	65

第 6 章 贺兰山马麝的采食营养策略67

6.1	贺兰山马麝采食样品采集及测量	68
6.1.1	植物样品的采集与保存	68
6.1.2	测量方法	68
6.1.3	数据处理	70
6.2	贺兰山马麝食物的营养成分与采食对策	70
6.2.1	食物的营养成分及次生代谢产物	70
6.2.2	采食对策选择	78
6.3	食物营养成分对马麝食物选择的影响及评价	80
6.3.1	食物营养成分及物质对马麝食物选择的作用	80
6.3.2	贺兰山马麝的食物选择及综合评价	81

参考文献	82
第7章 圈养和野生马麝的肠道菌群	86
7.1 马麝肠道菌群研究步骤	87
7.1.1 粪便样品获取	87
7.1.2 总 DNA 提取	89
7.1.3 粪便微生物 16S rRNA 文库构建	89
7.1.4 宏基因组文库构建	90
7.1.5 粪便微生物生物信息学分析	91
7.2 肠道菌群结构表征	94
7.2.1 测序深度及样本量检验	94
7.2.2 圈养和野生马麝冬季肠道菌群结构	97
7.2.3 圈养和野生马麝冬季肠道核心菌群	100
7.3 肠道菌群多样性分析	104
7.3.1 α 多样性	104
7.3.2 β 多样性	106
7.3.3 肠道菌群差异物种	108
7.4 马麝肠道菌群功能注释与关联	111
7.4.1 冬季肠道微生物基因及物种丰度	111
7.4.2 冬季肠道菌群功能	117
7.4.3 食性和肠道菌群的关联	122
7.5 马麝肠道菌群适应性	126
7.5.1 马麝肠道菌群对食物的适应	126
7.5.2 马麝肠道菌群多样性影响因素	127
7.5.3 马麝肠道菌群功能基因差异	129
参考文献	132
第8章 贺兰山马麝种群遗传学	136
8.1 马麝种群遗传学研究技术	138
8.1.1 基因组 DNA 提取	138
8.1.2 引物筛选及反应体系	140
8.1.3 数据处理与分析	142
8.2 贺兰山马麝种群遗传学特征	144
8.2.1 样本扩增	144
8.2.2 线粒体序列	144
8.2.3 个体识别与性别鉴定	144
8.2.4 种群遗传多样性	145
8.2.5 种群遗传结构	148
8.2.6 种群历史动态	156

8.3 贺兰山马麝种群遗传多样性与动态	157
8.3.1 马麝粪便样品保存与扩增分析	157
8.3.2 基于线粒体和微卫星标记的马麝种群遗传多样性	158
8.3.3 马麝种群遗传分化和历史动态	159
参考文献	161

第 9 章 贺兰山马麝种群的扩散模式

165

9.1 马麝扩散模式分析流程	166
9.1.1 数据来源和选取	166
9.1.2 数据分析方法	167
9.2 马麝种群扩散模式表征	167
9.2.1 空间自相关	167
9.2.2 两性 F_{st} 比较	168
9.2.3 分配检验	169
9.2.4 亲缘关系	169
9.2.5 近期扩散事件	170
9.3 马麝扩散模式与保护管理策略	171
9.3.1 马麝扩散模式及驱动因素	171
9.3.2 马麝保护与管理对策	172
参考文献	173

第 10 章 贺兰山马麝保护与管理规划

175

10.1 保护与管理规划的背景	176
10.2 保护与管理规划的必要性	176
10.3 保护与管理规划的目标	178
10.3.1 远期规划 (2035 年及以后)	178
10.3.2 中期规划 (2030 ~ 2035 年)	178
10.3.3 近期规划 (2030 年前)	178
10.4 内容和指南	179
10.4.1 栖息地保护、恢复与修复	179
10.4.2 基于遗传多样性的保护网络与廊道设计	180
10.4.3 人为干扰的多维度管控	183
10.4.4 管理部门保护能力的系统性提升	183
10.4.5 科普宣传与社区参与的协同推进	184
10.4.6 法律法规与政策制度的完善及落地实施	185
10.4.7 先进监测技术的应用与本土化开发	186
10.4.8 长效的种群及栖息地调查体系构建	187
10.4.9 马麝种质资源的保护与可持续利用	188
10.5 保护战略对接	188

10.5.1	与国家生物多样性保护战略的对接	188
10.5.2	与省级自然保护体系和规划的衔接	189
10.5.3	与区域生态修复和绿色发展规划的结合	190
10.5.4	与国际濒危物种保护与合作机制的接轨	190
10.5.5	构建多层次联动的保护协调与保障机制	190
10.6	资金筹措及来源	191
10.6.1	保护资金需求分析	191
10.6.2	资金来源多元化策略	191
10.6.3	资金管理与使用规范	192

附录 194

附表 1	贺兰山马麝线粒体 <i>Cyt b</i> 和 D-loop 区联合序列单倍型	195
附图 1	贺兰山马麝新旧粪堆对比	195
附图 2	贺兰山地区与马麝同域分布的物种	196
附图 3	贺兰山瘤孢地菇	198
附图 4	贺兰山马麝活动微生境	199
附图 5	贺兰山马麝分布生境	200
附图 6	贺兰山马麝采食植物显微结构图 (400×)	200
附图 7	贺兰山马麝采食前 (1) 后 (2) 部分植物的显微结构 (400×)	202
附图 8	10 个微卫星位点部分扩增产物电泳信号图	203
附图 9	线粒体 <i>Cyt b</i> (左) 和 D-loop 区 (右) 部分样品扩增条带图	205
附图 10	贺兰山马麝的生态行为	205
附图 11	野外调查	208



第 1 章

马麝与麝类概况

1.1 马麝

1.1.1 马麝的一般特征

马麝 (*Moschus chrysogaster*), 俗称高山麝、獐子、麝香鹿, 是麝科 (*Moschidae*) 麝属 (*Moschus*) 中体型最大的一种。成体体长 70 ~ 90 cm, 肩高 45 ~ 60 cm, 体重 15 kg 左右。后肢比前肢长约 1/3, 臀高大于肩高, 故善于跳跃和攀登。两性均不具角。雄性具獠牙状上犬齿, 斜向下伸出唇外, 长达 5 ~ 10 cm; 腹部具特殊的麝香腺囊; 尾短而粗, 腺体发达, 尖端具束毛。雌性上犬齿小, 不露出唇外; 腹部无麝香腺囊; 尾纤细且无腺体。体色由灰褐色或黄褐色至棕褐色或棕橘色, 颈背部具漩涡状或波浪式毛丛, 形成 3 ~ 4 条暗褐色横斑。幼体体色鲜亮, 深棕色, 背两侧具 4 ~ 6 个成行排列的淡黄或浅色斑点。颌下和颈腹面白色或污白色, 耳狭长, 内缘淡黄色或污白色 (Smith 和解焱, 2009)。

马麝性情十分机警、胆怯。营独栖生活方式, 一般在交配期能看到集群活动, 每年 11 月下旬至翌年 1 月上旬开始发情, 5 ~ 6 月产仔, 一年 1 胎, 每胎产仔 1 ~ 2 只。幼崽 3 岁性成熟, 寿命 12 ~ 15 年。活动区域和路线比较固定, 往返于山坡或山沟的一侧。具有标记领地的行为, 常在固定的树干上摩擦臀部, 留有气味和分泌物的树干俗称“油桩”。和其他麝类一样, 马麝排便集中, 活动区域内常见大小、新旧不等的粪堆, 因此极易被盗猎 (附图 1)。没有特殊的躲避敌害的能力, 但能在陡峭的环境中行走, 也能凭借跳跃能力上树。天敌众多, 包括猫科 (*Felidae*), 犬科 (*Canidae*) 犬属 (*Canis*)、狐属 (*Vulpes*), 大型猛兽和一些小型啮齿类动物 (郑生武和皮南林, 1979; 王兆锭和张鹏, 1997)。

1.1.2 马麝的空间分布

马麝属于典型的西北、西南高地型物种, 在水平格局上其分布范围主要位于中国青藏区的青海藏南亚区、西南区的西南山地亚区以及喜马拉雅亚区, 地理分布呈现出明显的高原、山地特征。除此之外, 马麝分布的边缘地带还延伸至蒙新区东部草原亚区的兴隆山和西部荒漠亚区的贺兰山, 形成了典型的山地岛屿状分布格局。行政区划上, 马麝主要分布于四川、云南、西藏、内蒙古、甘肃、青海、宁夏等地, 其中青海、甘肃、四川等地的高山林区是其重要的栖息地。马麝种群的形成与青藏高原的地质演化密切相关。青藏高原的快速隆起不仅塑造了复杂多样的山地环境, 也为马麝的演化、扩散和分化提供了独特的生态条件。贺兰山地区的马麝与甘肃寿鹿山、长岭山的马麝群体在遗传上存在最近的亲缘关系, 提示这些区域的马麝可能经历了相似的地理隔离与遗传漂变过程, 形成了相对独立又紧密相关的小种群 (刘志霄和李元广, 1993)。在垂直格局上, 马麝通常栖息于海拔 1700 ~ 4500 m 的生态环境, 包括茂密的针叶林、杜鹃花科 (*Ericaceae*) 植物组成的林地, 以及接近林线地带的稀疏灌丛地带、山地草甸与裸露岩石山地。它们能够适应高海拔地区严酷的气候和复杂多变的地形, 部分个体甚至活动至海拔接近 5000 m 的高山草地与裸岩区, 展现出极强的环境适应能力。马麝的垂直分布格局与季节性迁移、植被类型变化及人类干扰程度密切相关, 是理解其生态适应性和制定保护策略的重要依据。

1.1.3 马麝的亚种分化

一般认为, 马麝分为两个亚种, 即指名亚种 (*M. c. chrysogaster*) 和西部亚种 (*M. c. sifanicus*)。大致分布于我国中部高地, 南部和西部至喜马拉雅山脉, 延伸至尼泊尔、不丹和印度东北部。在我国主要分布于祁连山、贺兰山、四川西部、藏东南地区和云南北部高山山地。世界自然保护联盟 (IUCN) 的评估结果并未包括贺兰山, 贺兰山地区马麝种群现状数据缺乏。目前, 马麝整体上广泛但不连续地分布于青

藏高原及其周边的部分区域,均处于不同类型的保护地内。其一般栖居于海拔 1700 ~ 5000 m 的山地针叶林中,也见于林线以上的稀疏灌丛、高山草甸、裸露的山地(刘志霄和盛和林,2000)。

1.2 麝科动物的分类系统

1.2.1 中国的麝科动物

麝类动物在形态学和生态学上与鹿科(Cervidae)动物具有一定的相似性,长期以来曾被归类于鹿科动物之中,现有的分子系统学和解剖学研究已证实,麝类实属独立的一个科,即麝科(Moschidae)。就全球范围来看,现存麝类的种类较少,世界自然保护联盟(IUCN)目前认定的7种麝类动物分别为:原麝(*M. moschiferus*)、林麝(*M. berezovskii*)、马麝(*M. chrysogaster*)、喜马拉雅麝(*M. leucogaster*)、黑麝(*M. fuscus*)、安徽麝(*M. anhuiensis*)以及克什米尔麝(*M. cupreus*)。令人瞩目的是,有6种在中国有分布。中国无疑是全球麝类动物分布最广、种类最丰富的国家,也是未来全球麝类保育研究的关键区域。

原麝主要分布于东北亚地区,包括俄罗斯远东地区、蒙古国以及中国东北和北方高海拔山区;林麝则广泛分布于中国西部和西南部的多个省份,如四川、陕西、甘肃、重庆、贵州等地,适应性较强,是中国传统利用历史最悠久的麝类之一;马麝主要分布在青藏高原及其边缘地区,包括西藏、青海、甘肃、四川等省区,尤其适应高寒山地生态系统;喜马拉雅麝广泛分布于喜马拉雅山脉东段至横断山区域,主要出现在西藏东南部和云南西北部等地;黑麝则主要分布在中国西南部的四川、云南等地区,因其体毛颜色较深而得名;而安徽麝作为中国的特有种,分布范围最为局限,主要集中于中国东部的大别山地区,具有极高的保护价值和研究意义。至于克什米尔麝,目前仅发现于克什米尔及邻近地区,尚未在中国境内有明确记录。

中国幅员辽阔、山地众多,自然生态系统类型多样,为多种麝类提供了栖息和演化的空间格局。在不同的地理单元中,这些麝类动物逐渐形成了独特的分布格局和种群特征,并在长期的自然选择压力和地理隔离下,表现出高度的形态、行为和遗传分化。例如,生活在高原寒冷区域的马麝表现出厚密的体毛、较强的心肺功能和高度的隐蔽性行为策略,以适应高寒、低氧的生态环境;而林麝则表现出较强的适应性,在山地针阔混交林、灌丛林等多种生境中均可生存。近年来,随着基因组学、分子系统学、景观生态学等前沿技术的广泛应用,科研人员对麝类动物的分类地位、种群结构、地理变异与适应机制有了更加深入的认识。例如,利用线粒体DNA、微卫星(microsatellite)标记以及高通量测序技术的研究显示,某些传统上被认为是单一物种的麝类,其实内部已存在明显的遗传分化和潜在的隐存种,这对麝类的保护策略制定具有重要启示意义。特别是安徽麝的发现和定名,正是建立在系统发育学证据的基础之上,其种群小、栖息地狭窄,极易受到人类活动干扰,亟需加强研究与保护。

总之,在应对生物多样性危机、推进自然保护体系建设的大背景下,加强对麝类动物的生态学、遗传学与保护生物学研究,厘清其系统分类地位、种群演化路径及适应机制,具有重要的科学意义和实践价值。麝类作为中国高山生态系统中典型的旗舰物种,其保护状况不仅能反映区域生态健康水平,也在全球濒危物种保护进程中占据重要地位。

1.2.2 麝类分类演变历史

截至目前,麝类的分类还是存在着争议(Zhou et al., 2004),最早为麝类动物命名的是瑞典博物学家林奈,他于1758年用双名法命名了原麝(*M. moschiferus*),并将其独立成麝属(Krivoshapkin, 2008)。但在其科属方面,早年间一些学者将其归为鹿科(Cervidae)麝亚科(Moschinae),并认为麝为一个种,即原麝(Lydekker, 1913)。但随着分子生物学和细胞遗传学技术不断取得进展,国外许多从事微观研究

的学者,把麝类单独划分成一个科来进行科学研究。1930年,以 Flerov 等为代表的学者认为,麝分为原麝(*M. moschiferus*)、林麝(*M. berezovskii*)和马麝(*M. chrysogaster*)三种(Flerov, 1929)。1981年,我国学者将喜马拉雅麝(*M. leucogaster*)确立为一个有效新种,使麝类的记录种数由3种增至4种(蔡桂全和冯祚建, 1981)。同年,李致祥(1981)又命名了1973~1978年新发现于云南省高黎贡山的黑麝(*M. fuscus*),将其种类扩充至5种。1982年,王歧山等(1982)在安徽大别山考察时发现该地区原麝与黄山以北的原麝外形有所不同,经研究定为原麝安徽亚种(*M. m. anhuiensis*)。至20世纪末21世纪初,研究者综合运用多种方法,除分析头骨及外形并进行主成分分析外,还借助线粒体DNA分析技术将其独立定种为安徽麝(*M. anhuiensis*)(Su et al., 2000; 王应祥, 2003)。此后的几年间,以Wilson和胡锦矗为代表的学者,将克什米尔麝也纳入进来,认为全世界共有7种麝(Wilson and Reeder, 2005; 胡杰和胡锦矗, 2017)。在现阶段,国内关于麝类分类给出明确定义的是王应祥先生2003年主编的《中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全》,这本书中定义麝属的种类为6种,分别为:马麝、原麝、林麝、喜马拉雅麝、黑麝以及安徽麝,并未纳入克什米尔麝,而且在国际上,在《濒危野生动植物种国际贸易公约附录》,即CITES附录I、附录II中也未将克什米尔麝收录其中。目前学术界提及的麝属动物分类的历史如表1-1所示(Groves et al., 1995)。

表 1-1 麝属动物分类的历史

学名	英文名	中文名	亚种名	异名
<i>Moschus moschiferus</i> Linnaeus, 1758	Siberian musk deer	原麝	<i>M. m. moschiferus</i> Linnaeus, 1758	<i>M. m. sibiricus</i> Pallas, 1779
				<i>M. m. arcticus</i> Flerov, 1929
			<i>M. m. parvipes</i> Hollister, 1911	<i>M. m. turowi</i> Zilkin, 1945
			<i>M. m. sachalinensis</i> Flerov, 1929	
<i>Moschus berezovskii</i> Flerov, 1928	Forest musk deer	林麝	<i>M. b. berezovskii</i> Flerov, 1928	
	Anhui musk deer	安徽麝	<i>M. b. anhuiensis</i> Wang, Hu et Yan, 1982	
			<i>M. b. caobangis</i> Dao, 1969	
			<i>M. b. yunguiensis</i> Wang et Ma, 1995	
			<i>M. b. bijiangensis</i> Wang et Li, 1993	
<i>Moschus fuscus</i> Li, 1981	black musk deer	黑麝	<i>M. f. fuscus</i> Li, 1981	
			Mt. Everest form (不确定)	
<i>Moschus chrysogaster</i> Hodgson, 1839	Alpine musk deer	马麝	<i>M. c. chrysogaster</i> Hodgson, 1839	高山麝
			<i>M. c. sifanicus</i> Buechner, 1891	
<i>Moschus leucogaster</i> Jodgson, 1839	Himalayan musk deer	喜马拉雅麝	<i>M. l. leucogaster</i> Hodgson, 1839	<i>M. saturatus</i> Hdogson, 1839
			Zangmu/Khumjung form (不确定)	
			Kulu form (不确定)	
			<i>M. l. cupreus</i> Grubb, 1952	
<i>Moschus cupreus</i> Grubb, 1952	Kashmir musk deer	克什米尔麝		

1.3 麝类种群现状

准确掌握各类型保护地内野生动物的种群分布与数量特征等基本信息,是科学研判和有效实施保护及管理措施的基础前提,也是衡量保护成效和制定相关政策法规的重要科学依据。我国最早对麝类

资源的评估是根据麝香产量估计的。在 20 世纪 60 年代初期,我国原麝 (*M. moschiferus*)、林麝 (*M. berezovskii*) 和马麝约有 250 万只,宁夏地区至少有马麝 1 万只 (盛和林, 1987); 由于捕麝取香, 80 年代中期, 估计资源量下降至 60 万只, 减少了 76%; 90 年代初期, 乐观地估计数量有 20 万~30 万只。随后, 调查组陆续开展了专项调查工作。1993~1995 年的调查估计数量不足 10 万只 (盛和林, 1996); 1999~2001 年全国麝类资源调查显示, 麝类数量 6 万~7 万只, 其中马麝 1.93 万~2.32 万只 (郜二虎等, 2005); 2003 年, 通过麝香贸易数据估计, 数量为林麝 10 万~20 万只, 马麝 10 万只, 原麝 0.2 万只 (Yang et al., 2003)。总体上, 进行全国性的麝类数量估计很难, 且数据可靠性有待商榷。

此后, 样线法、大样带法和粪堆计数法等被应用到麝类数量和密度估计中, 但均是小尺度局域性的, 且报道为数不多。杨奇森等 (1989) 利用粪堆计数法估计了四川省白玉县林麝的密度, 次生灌丛、针阔混交林和次生杨桦树林分别为 9.02 只 /km²、9.15 只 /km² 和 0.7 只 /km²。于孝臣和赵泽斌 (1993) 采用样线法估计贺兰山林区马麝数量大约为 1665 只, 而刘志霄等 (2000) 利用分层样地和样线粪堆计数法调查显示该地区数量约为 205 只 (平均密度 0.38 只 /km²)。Qamar 等 (2008) 通过大样带法估计厄瓜多尔马查利亚国家公园内喜马拉雅麝数量为 64 只。王霞等 (2020)、彭杰等 (2018) 利用样线法估计重庆金佛山林麝的数量为 95 只 (平均密度 0.33 只 /km²)。王静等 (2020) 采用样线法和粪堆计数法, 结合植被分层的方法, 比较全面地对兴隆山马麝的数量进行了调查, 显示种群数量为 1159 只 (平均密度 3.51 只 /km²)。

宁夏回族自治区贺兰山国家级自然保护区管理局资料显示, 1958 年通过土特产部门收购的麝香数量推算, 每年平均有 1000 只马麝被捕杀, 而当时存在的马麝约为 10 000 头, 并未大尺度地影响马麝种群数量。1985 年底的调查显示, 该地区马麝总量约为 1665 头, 1995 年, 该地区马麝总量不足百头 (胡天华和李涛, 2003)。内蒙古贺兰山国家级自然保护区在 20 世纪 80 年代初期同样开展过一次对贺兰山林区马麝数量的调查, 结果显示野生马麝种群数量在 1000~2000 只。当时分布数量最多的为哈拉乌南沟、北沟, 在这两条沟当中想见到马麝相对较易。以这两条沟为中心向南一直延伸到赵池子沟, 向北一直到小松山, 均有马麝的分布。其间各条沟越靠近哈拉乌沟分布数量越多。而后, 当地林业局又在 1995~1996 年进行了考察, 发现马麝的数量之少与当年相比可算是天壤之别, 特别是在 1996 年随同内蒙古野生动物调查队考察时, 从北边的小松山一直到南边赵池子沟, 各条沟走遍了仅见到一只马麝实体 (王兆铤和张鹏, 1997)。这次考察当中发现马麝的新鲜粪便都非常少。当年数量最多的哈拉乌沟, 如今却连马麝的新鲜粪便也很难见到。杨云天等 (2017) 通过野外实地监测调查并结合当地林业局最新统计结果, 在宁夏和内蒙古两个保护区的协同配合下, 采用架设红外相机监测及寻找马麝粪堆等办法锁定马麝出现的位置, 根据内蒙古贺兰山国家级自然保护区的文献记录以及多年的野外考察估测, 贺兰山地区马麝仅存不足 100 只。

1.4 麝类家域及栖息地

1.4.1 麝类家域大小

野生动物的家域是能够保证动物单个个体或其种群的生活需要, 并且经常在该空间中进行日常活动的区域。麝类动物普遍具有领域性, 因此国内外学者对其家域研究较多, 但由于其敏锐机警, 非交配时期大多喜独居, 栖息地的隐蔽级别高, 即便架设红外相机或望远镜对其进行观测也很难确定其栖息地空间利用模式, 绘制和测量其家域异常困难。Harris 等在 1993 年突破了这个门槛限制, 利用无线电遥测法尝试测绘秋季青海白扎林区内马麝家域面积, 得到一亚成体雄性马麝秋季家域面积为 18 hm² (Harris and Cai, 1993)。杨奇森等运用基于三维空间建立家域模型的方法, 采用 GPS 对西藏东南部地区的马麝家域进行了研究, 结果表明, 该地区马麝的家域面积整体呈圆形, 但不同季节存在变化和空间差异, 比如冬季家域大于夏季家域, 秋冬季节的家域大于春夏季节的家域, 推测冬季马麝家域的增大可能与其食物短缺相关, 是马麝为应对冬季食物短缺而产生的行为适应。同时, 在不同季节马麝活动还呈现垂直迁移的

现象,但是不影响其家域大小的变化(杨奇森和刘务林,1998)。食物是决定动物家域大小的最重要的因素,当马麝处于食物短缺的冬季时,会通过扩大其摄食范围来保证其能量的供应(Swingland and Greenwood, 1983)。Green 在 1986 年运用项圈无线电遥测方法研究了 Kedarnath 禁猎区喜马拉雅麝的家域季节变化,结果发现,印度喜马拉雅麝的家域为 $150 \sim 300 \text{ hm}^2$,在禁猎区内,3 月雌、雄活动范围分别限于 25 hm^2 和 30 hm^2 (Green, 1986)。

通过分析不同尺度的研究结果发现,麝类动物与其所处的自然生境之间存在着多种相互作用,在栖息地选择上的时空尺度是自然相关的,在各个尺度和水平上具有不同的特征和机制。吴建平等(2008)针对东北地区原麝与斑羚的冬季家域开展了对比研究,结果表明,两者的家域大小没有明显的区别,但在哺乳期内雌性个体的家域面积要比非哺乳期的雌性个体家域面积大。二者不规则的家域面积,是由于当地复杂的地貌和其对复杂地形利用的结果。在不同物种的个别个体中偶有家域重叠的现象,这与两者的冬季食物组成以及冬季食物匮乏有着一定的关系。这说明,麝类动物在不同的生长发育阶段、不同生理时期及不同季节对栖息地的需求也不同,也将导致其在栖息地选择方面存在差异。与此同时,种间和种内的竞争、捕食、人为干扰等因素也对同麝类相似的其他反刍动物的栖息地选择行为产生相同的影响。对同域分布的鹿和狍的研究发现,两种生态极为相似的动物在生境利用方面无疑是存在种间竞争的,在同一生境中相互独立的家域面积要小于相互重叠的家域面积,在食物充足的季节,二者对微生境的利用方式仅存在种间差异,但在冬季食物短缺时,尤其是在家域面积大量重叠的情形下,种内的竞争也随之加剧(Hemami et al., 2004)。

1.4.2 麝类生境选择

麝类动物基本上没有抵抗天敌的能力,唯以逃跑来躲避捕杀。麝类主要生活在 1000 m 以上的针阔混交林、针叶林、阔叶林、灌丛以及林缘草甸等栖息地,这些地方郁闭度大,能使其行踪较为隐蔽。针对马麝生境选择展开的详细研究报道主要集中在兴隆山和贺兰山。在兴隆山保护区,孟秀祥等(2010)对马麝春季生境选择的研究表明,海拔较低(2280 m 左右)、乔木高度较高(9 m 左右)、植被盖度较高(26%)、中下坡位且坡度在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的生境会被马麝利用,其中灌木(盖度)、乔木(郁闭度和密度)、食物(坡度、乔木高度和食物丰度)和隐蔽(植被类型和隐蔽度)4 类因子是影响选择的重要因素;而夏季马麝选择中坡位(67°)、隐蔽度高(88%)、距离水源较近($< 1 \text{ km}$)和距离人为干扰较远($> 1 \text{ km}$)且避风性较好的生境,其中乔木(胸径、郁闭度)、海拔、食物(植被盖度和食物丰度)和灌木 4 类因子依次是决定夏季生境选择的重要因子(佟梦等, 2010);孟秀祥等(2011)对秋季生境选择的研究表明,乔木密度和灌木密度均较高、距离水源和人为干扰($< 1 \text{ km}$)较近的中下坡位生境会被利用,其中,地理因子是影响栖息地选择的首要因素,包括海拔、坡向、植被类型和距水源距离;冬季选择针阔混交林、灌丛等视野开阔、避风性好且距离水源较近的生境,其中乔木、水源、食物、坡度、开阔度和地表 6 类因子的累计影响率达 70.94%(杨萃等, 2011)。由此可见,随着该地区气候的季节性更替,马麝结合自身的生存需求也对各生态因子作出了适应性的选择。

同一物种在不同地区也表现出生境选择的季节差异。赵唱(2018)对贺兰山地区马麝生境选择的研究表明,食物、隐蔽级和距人为干扰距离等因子是影响该地区马麝生境选择的重要因子,且表现出一定的季节差异。春季倾向选择山地针叶林带[以青海云杉(*Picea crassifolia*)为优势乔木,密度较高,高度较低]、高海拔(2600 m)、隐蔽级高、距离水源($> 1 \text{ km}$)和裸岩较远($> 0.8 \text{ km}$)的阴坡生境,其中,海拔是最主要的影响因子(陈俊达等, 2020);王继飞等(2021)对夏季马麝生境选择的研究表明,高海拔(2650 m)、高密度乔木(以青海云杉为优势乔木)、低密度灌木、隐蔽级较高和距离水源较远($> 1 \text{ km}$)的生境是其偏好选择的,其中,灌木密度是最重要的影响因子;秋季选择山地针叶林带(以青海云杉为优势乔木,乔木密度高、距离近)、灌木密度低,隐蔽级高、距离人为干扰和裸岩较远的生境,

但隐蔽级是影响秋季生境选择贡献率最高的生态因子(米书慧等, 2021); 孙嘉等(2020)对冬季生境选择的研究表明, 冬季马麝偏好选择海拔高(2800 m)、山地针叶林(乔木密度高、树木高)、灌木林(密度低、树木高、间距大)、植被盖度低、雪深、坡度低和隐蔽级高的生境, 其中海拔依旧是贡献度最高的生态因子。总体上看, 鉴于贺兰山地区固有的植被和特殊的地形地貌, 该地区马麝选择的生境比较固定, 但随着季节的变化, 海拔、灌木密度和隐蔽级等成为影响马麝微生境选择的主要因素, 这可能与该地区马麝获取食物、躲避干扰等强烈相关。

1.4.3 麝类栖息地适宜性

高浩翔等(2023)利用 MaxEnt 模型对兴隆山马麝夏季的生境适宜性进行的研究显示, 保护区马麝潜在适宜生境面积为 123.34 km², 占保护区总面积的 41.11%, 其中高质量适宜生境仅占保护区面积的 4.47%, 海拔、坡向、植被和河流是影响评价的主要生态因子。对贺兰山地区马麝的研究表明, 其适宜生境面积为 120.24 km², 仅占贺兰山总面积的 3.27%, 对模型贡献值最大的前四个生态因子分别为针叶林、距水源距离、距护林站距离和海拔(丁彦珂等, 2023)。贺兰山的保护面积大约是兴隆山保护面积的 12.5 倍, 但马麝潜在的适宜性生境面积却比兴隆山大约少 3 km², 在全球气候变化的影响下这一差距可能会加大, 贺兰山地区马麝的精准保护迫在眉睫。油志远等(2021)的研究表明, 四川察青松多国家级自然保护区马麝适宜生境面积为 204.71 km², 约占其总面积的 14.21%, 人为干扰是主要的限制因素。Jiang 等(2020)的研究结果显示, 我国马麝的适宜性生境面积达 460.32 万 km², 仅次于林麝, 其中高质量区域为 84.71 万 km², 中等质量区域为 112.33 万 km²。但随着当前的气候变化, 在 5 个不同的全球气候模型(GCM)预测下, 未来马麝栖息地重心将往西南方向迁移, 主要分布于甘肃陇南、天水 and 甘南等地。高质量、中等质量适宜性栖息地的浮动范围平均为 -0.63% 和 2.2%, 这表明, 具有高质量的适宜性区域可能会缩小, 而具有中等质量的适宜性区域可能会扩大。总之, 当前马麝的生境被压缩在狭小的各保护地内, 未来其适宜生境仍有可能会持续减小。

1.5 麝类保护现状

1.5.1 经济价值及面临的威胁

麝香只有雄麝可以分泌, 是在雄麝腹部脐与睾丸之间的一个特殊腺体——麝香腺中产生的。麝香腺呈囊形, 是由香腺部的腺组织和香囊部的皮脂腺分泌而形成的。雄麝在 1 岁左右, 每年 5~7 月会出现泌香反应, 这期间只有 4~10 d 属于泌香旺盛期(郑生武和皮南林, 1979)。但雄麝在 3 岁后分泌出的麝香才算完全成熟(戴卫国和尹淑媛, 1991), 10 岁时泌香量达到最大值, 15 岁左右时停止泌香(颜于宏等, 1981)。麝香分泌和形成的过程是连续的, 在泌香旺盛期, 大量的腺泡细胞游离, 从腺泡细胞脱离后进入腺泡腔形成初香液, 呈乳黄色。在香囊部的顶端, 香囊部的管状壁内有着丰富的皮脂腺体, 其常年不断地分泌皮脂与初香液一起经导管进入香囊腔内, 再经过约 2 个月的体内转化, 香囊逐渐膨大, 最终形成颗粒状与粉粒状混合的深褐色、棕黄色或黑褐色物质(尹淑媛和戴卫国, 1991), 俗称“蚂蚁香”或“挡门子香”(倪荷芳, 1999)。干燥的麝香香味浓厚, 新鲜的麝香则会带有动物的腥味。

麝香的产生与麝类动物繁殖有着密不可分的关系。麝香具有挥发性, 雄麝分泌的麝香, 在繁殖期具有吸引雌性的作用。同样, 在非繁殖期, 麝香通过空气散发信息素, 可以作为标记领地的工具。有研究表明, 麝香的主要药用成分为巨环麝香酮(C₁₆H₃₀O), 此外还含有多肽蛋白质类化合物、脂肪酸和酯类化合物、甾类化合物、吡啶类化合物、无机盐、纤维素、尿素等成分(董万超等, 2001; 孙蓉等, 2005)。我国古代医学典籍《神农本草经》中将麝香列为上品, 《本草纲目》中将其列为天地“神品”(梁兆和张

意宽, 1999)。中医认为, 麝香具有通经活络, 活血止痛, 消肿解毒, 开窍排毒等功能(万慎曜, 1994), 在现有的中成药处方中, 单用麝香的配方有 95 种, 而合成处方有 2600 余种。现代医学研究认为, 麝香对人体的呼吸系统、中枢神经系统、循环系统和子宫平滑肌具有广泛的兴奋作用(Homes, 1999), 能刺激子宫引起人工流产; 可以刺激雄性激素分泌, 使得肾上腺素功能增强; 同时有助于昏迷病人的苏醒; 此外还具有抗菌消炎的作用, 是急诊急救的临床必备药(叶强, 1959; 王兴雷, 2014)。

除此之外, 由于麝香的香味浓厚持久, 从古至今, 其都被用作良好的天然定香剂, 在国内外公认的灵猫香、麝香、河狸香和龙涎香四大动物香料中, 麝香位居榜首。添加了麝香的化妆品, 香气持久不散, 被誉为世间珍品。据统计, 每只成年雄麝每年可产生约 50 g 的麝香, 受非法盗猎滥捕影响, 获取 50 g 麝香成品往往要牺牲成年马麝 5~20 只, 由此可见麝香产量极低, 而市场对麝香的需求却持续旺盛, 导致供不应求。20 世纪 80 年代以来, 国际市场上的麝香价格暴涨, 为黄金价格的 6~8 倍(刘志霄等, 2000), 在巨额经济利益的刺激下, 一些人铤而走险, 无视法律, 暗地里进行着乱捕乱杀等偷猎盗猎行为。

马麝性情怯懦, 自卫能力很差, 唯以奔跑逃避敌害。在贺兰山林区马麝的天敌主要是猢狲(*Lynx lynx*)、赤狐(*Vulpes vulpes*)和大型猛禽, 如金雕(*Aquila chrysaetos*)、草原雕(*Aquila nipalensis*)、苍鹰(*Accipiter gentilis*)等。在贺兰山马麝的分布区内还有岩羊(*Pseudois nayaur*)、马鹿(*Cervus canadensis*)等与其形成种间竞争的物种。在严格的管护下, 同域分布的有蹄类食草动物种群在迅速增长, 无疑也挤占了马麝的生存空间(胡天华和李涛, 2003)(附图 2)。自 20 世纪 80 年代以来, 贺兰山马麝种群资源锐减的主要原因就是钢丝套偷猎, 1987 年达到偷猎高峰, 这些钢丝套除套死马麝外, 同样也会套死很多家畜。调查发现, 在 1988 年兴隆山马麝分布区, 偷猎者一昼夜下套万余个, 事后发现遗弃的马麝残骸达 230 余具(郑涛等, 1991)。在 1991 年冬季和 1992 年冬季, 四川大别山管理部门查获偷猎麝香案件 33 起, 发现已捕或已套死麝近 200 只, 使大别山麝资源锐减(盛和林, 1996)。

栖息地的丧失或退化是造成马麝种群数量降低的另一因素。麝类动物主要栖息于山林地带, 马麝、林麝、喜马拉雅麝、原麝和黑麝大都生活在森林环境中。生活在高山地区的马麝, 如贺兰山马麝, 尽管出于海拔地形原因在草甸上活动, 但也必须依赖于高山灌丛和青海云杉林, 不能完全生活在开阔的草原上(Zhang et al., 2024)。森林资源的破坏会直接造成麝栖息地的丧失或退化, 缩小其生存空间, 致使麝资源骤减。对原麝的研究发现, 由于森林采伐和森林火灾, 与 1980 年以前相比, 1990 年原麝在黑龙江省大兴安岭的分布区域向西退缩了近 100 km(于孝臣等, 1997)。在川西北横断山脉沿途完全禁猎的白玉县混交林中, 马麝的种群密度曾一度超过 9.15 只/km², 但 1989 年当地发生的一场人为火灾, 导致马麝种群密度锐减至 5.8 只/km²(Yang et al., 2003)。人们的生产和放牧活动也是造成其栖息地退化的原因之一。目前, 许多地区麝的栖息地呈现严重破碎化和孤岛化, 甚至在某些保护区内, 麝资源也受到严重破坏, 而我国绝大部分原有麝类的省份, 现麝类分布已绝迹。非法捕猎行为的猖獗和麝栖息地日趋片断化在造成麝类资源急剧下降的同时, 也降低了物种的遗传多样性, 限制了种群间的个体交流, 加剧了被捕食风险与种间竞争强度, 从而增加了该物种濒危甚至灭绝的可能性。

1.5.2 政策法规的实施

为应对麝类动物因盗猎、栖息地被破坏及非法贸易所带来的生存危机, 中国在法律和政策层面构建起了较为完善的野生动物保护体系, 尤其针对麝类等珍稀濒危物种, 制定并实施了一系列具有针对性的法律法规和管理措施。在国家层面, 《中华人民共和国野生动物保护法》是最为核心和基础的立法。自 1988 年颁布以来, 该法历经多次修订, 尤其是 2016 年与 2022 年的两次重大修订, 显著加强了对非法猎捕、交易和运输野生动物行为的打击力度, 并确立了“保护优先、规范利用、严格监管”的基本原则, 强调对野生动物原生栖息地的系统保护, 以及人工繁育的规范化发展。在这一法律体系下, 麝类的保护地位逐步提升。1988 年, 麝被列为国家二级重点保护野生动物; 随着保护需求的提升, 2002 年被上调为国家

一级重点保护野生动物。2021年,国家林业和草原局与农业农村部联合发布修订版《国家重点保护野生动物名录》,麝类动物继续维持在一级保护序列,体现了其在国家生态安全战略中的重要地位。国际社会亦高度关注麝类的保护。马麝等主要种类被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录I和附录II,严格限制其国际贸易。2008年,世界自然保护联盟(IUCN)将马麝评估为濒危物种(EN),进一步强调了其生存面临的全球性威胁。

在法规执行与地方实施方面,多数麝类分布区域所在的省份积极制定了配套的地方性法规与技术标准。例如,甘肃、四川、陕西、青海等地陆续发布了《甘肃省生物多样性保护条例》《德昌县人民政府关于发布德昌县陆生野生动物禁猎区和禁猎期的通告》《陕西省实施〈中华人民共和国野生动物保护法〉办法》《青海省野生动物保护条例》等文件,明确规定了重要栖息地的禁猎期、禁猎区划设、野外监测机制、人工繁育许可及野生个体救护管理等内容。各地通过设立自然保护区、生态功能保护区与国家公园等空间保护机制,加强对麝类栖息地的保护与恢复。目前,马麝的重要分布区,如四川卧龙、甘肃白水江、青海三江源、宁夏贺兰山等,均已纳入国家级自然保护区体系,对缓解栖息地破碎化、维持生态完整性起到了关键作用。

针对麝香资源的高市场需求与野生种群保护之间的矛盾,中国政府着力推动人工繁育产业的规范化发展。早在1991年,林业部就颁布了《国家重点保护野生动物驯养繁殖许可证管理办法》,2017年国家林业局发布了《人工繁育国家重点保护陆生野生动物名录(第一批)》,对林麝、马麝等麝类的人工养殖许可、繁育流程、产品流通及监管制度作出了详细规定。近年来,林草主管部门不断优化人工繁育监管体系,推动建立麝类个体标识系统,通过芯片植入、DNA建档等科技手段,对繁育个体实施全生命周期管理,有效防止野生个体被冒充为人工繁育来源,逐步实现“来源合法、路径可控、去向清晰”的监管目标。

总之,随着法律法规体系的不断完善与多层次管理机制的逐步落实,中国在麝类保护方面已取得阶段性成效。然而,面对持续存在的盗猎压力、栖息地退化及繁育体系管理漏洞等挑战,我们仍需加强执法协同,提升政策执行力,促进公众参与并完善跨区域生态联动保护机制,进一步夯实麝类物种的生存基础。

参考文献

- 蔡桂全,冯祚建.1981.喜马拉雅麝在我国发现及麝属的分类探讨.动物分类学报,(1):108-113.
- 陈俊达,丁彦珂,李宗智,等.2020.贺兰山马麝春季生境选择.野生动物学报,41(2):303-308.
- 戴卫国,尹淑媛.1991.雄麝年龄与其泌香量的关系.动物学杂志,(6):45-48.
- 丁彦珂,姚志诚,赵唱,等.2023.贺兰山马麝(*Moschus chrysogaster*)生境适宜性评价.生态学报,43(8):1-7.
- 董万超,赵伟刚,刘春华.2001.麝香研究进展.特产研究,23(2):48-58.
- 高浩翔,申立泉,刘瑞,等.2023.基于最大熵模型的野生马麝夏季生境适宜性研究.生态学报,43(1):441-448.
- 郜二虎,遇达伟,李琼.2005.我国麝资源现状及保护对策.林业资源管理,(1):45-47,44.
- 胡杰,胡锦矗.2017.哺乳动物学.北京:科学出版社.
- 胡天华,李涛.2003.宁夏贺兰山马麝资源的兴衰及保护管理对策.野生动物学报,24(4):4-5.
- 李致祥.1981.中国麝一新种的记述.动物学研究,2(2):157-161.
- 梁兆,张意宽.1999.人造药用麝香的应用及合成.陕西中医,(4):184-186.
- 刘志霄,李元广.1993.干旱与放牧对贺兰山野牛有蹄类影响的初步观察.华东师范大学学报(自然科学版),(3):107-109.
- 刘志霄,盛和林.2000.贺兰山马麝的渊源.野生动物,21(2):10.
- 刘志霄,盛和林,李元广,等.2000.贺兰山林区马麝隔离种群的生存现状及保护.生态学报,20(3):463-467.
- 孟秀祥,潘世秀,惠岑悻,等.2011.甘肃兴隆山自然保护区濒危马麝(*Moschus sifanicus*)秋季利用生境特征.应用与环境生物学报,17(3):412-417.

- 孟秀祥, 潘世秀, 栾晓峰, 等. 2010. 兴隆山自然保护区马麝春季生境选择. 生态学报, 30(20): 5509-5517.
- 米书慧, 赵唱, 孙嘉, 等. 2021. 贺兰山马麝秋季生境选择. 四川动物, 40(2): 169-175.
- 倪荷芳. 1999. 麝香分泌形成和真伪的扫描电镜鉴别. 中药新药与临床药理, 10(5): 306-308.
- 彭杰, 彭建军, 邓亚平, 等. 2018. 重庆金佛山国家级自然保护区林麝种群数量初步调查. 林业科技通讯, (4): 30-32.
- 盛和林. 1987. 麝资源的兴衰及拯救对策. 野生动物, (3): 3-4.
- 盛和林. 1996. 我国麝资源现状及救护措施. 野生动物, (3): 10-12.
- 孙嘉, 赵唱, 孟德怀, 等. 2020. 贺兰山马麝冬季生境选择. 野生动物学报, 41(3): 573-579.
- 孙蓉, 王任卿, 于晓, 等. 2005. 麝香的化学与药理研究进展. 药学研究, 24(5): 296-297.
- 佟梦, 潘世秀, 王向伟, 等. 2010. 甘肃兴隆山自然保护区马麝夏季栖息地特征及生境选择格局. 动物学研究, 31(6): 610-616.
- 万慎曜. 1994. 麝香的药用价值. 东方养生, (1): 22.
- 王继飞, 李宗智, 赵唱, 等. 2021. 贺兰山马麝(*Moschus sifanicus*)夏季生境选择研究. 经济动物学报, 25(4): 217-221.
- 王静, 孙军平, 徐涛, 等. 2020. 甘肃兴隆山保护区野生马麝分布、数量特征及影响因素. 生态学报, 40(21): 7997-8004.
- 王歧山, 胡小龙, 颜于宏. 1982. 我国原麝一新亚种: 安徽亚种. 兽类学报, 2(2): 133-138.
- 王霞, 袁旭东, 周洪艳, 等. 2020. 重庆金佛山国家级自然保护区林麝(*Moschus berezovskii*)种群数量初步调查及地理分布. 中国农学通报, 36(19): 44-47.
- 王兴雷. 2014. 名药之首话麝香. 中国药典, (16): 84-85.
- 王应祥. 2003. 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全. 北京: 中国林业出版社.
- 王兆铨, 张鹏. 1997. 贺兰山林区马麝的生活习性 & 保护措施. 内蒙古林业调查设计, (1): 20-23.
- 吴建平, 张勇, 付东风, 等. 2008. 原麝与斑羚冬季家域的对比. 东北林业大学学报, 36(1): 58-60.
- 颜于宏, 毕书增, 武义鸣, 等. 1981. 雄麝麝香分泌盛期的生理和生物学特性. 野生动物, (1): 22-24.
- 杨萃, 潘世秀, 安谈红, 等. 2011. 甘肃兴隆山自然保护区马麝冬季生境喜好初步研究. 四川动物, 30(3): 481-487.
- 杨奇森, 胡锦涛, 彭基泰. 1989. 白玉县林麝种群密度的研究. 四川师范学院学报(自然科学版), 10(4): 329-336.
- 杨奇森, 刘务林. 1998. 西藏东南部地区马麝家域的研究. 兽类学报, 18(2): 87-94.
- 杨云天, 杨玉萍, 娜荷芽, 等. 2017. 贺兰山西坡马麝生存现状研究. 农业与技术, 37(8): 1.
- 叶强. 1959. 祖国的名贵药物: 麝香. 上海中医药杂志, (2): 43-45.
- 尹淑媛, 戴卫国. 1991. 雄麝的香腺和香囊在麝香分泌及形成中的作用. 动物学杂志, (4): 23-25.
- 油志远, 鲁碧耕, 骆念龙, 等. 2021. 基于MaxEnt模型的四川察青松多白唇鹿国家级自然保护区马麝栖息地适宜性评价. 西南民族大学学报(自然科学版), 47(6): 555-561.
- 于孝臣, 赫俊峰, 史玉明, 等. 1997. 黑龙江省原麝资源现状. 野生动物, (2): 5-7.
- 于孝臣, 赵泽斌. 1993. 贺兰山林区马麝种群变动及分布的初步观察. 野生动物, (2): 24-25.
- 赵唱. 2018. 贺兰山马麝的营养采食策略和微生境选择及评价研究. 哈尔滨: 东北林业大学博士学位论文.
- 郑生武, 皮南林. 1979. 马麝的生态研究. 动物学报, 25(2): 85-89.
- 郑涛, 张迎梅, 罗时有, 等. 1991. 甘肃麝资源及开发利用. 兰州大学学报(自然科学版), (2): 129-133.
- Smith A. 解焱. 2009. 中国兽类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社.
- Flerov C. 1929. On the classification and the geographical distribution of the genus *Moschus* (Mammalia, Cervidae). Yearbook of the Zoological Museum of the USSR Academy of Science, 31: 1-20.
- Green M J. 1986. The distribution, status and conservation of the Himalayan musk deer *Moschus chrysogaster*. Biological Conservation, 35(4): 347-375.
- Groves C P, Wang Y X, Grubb P. 1995. Taxonomy of musk deer, genus *Moschus* (Moschidae, Mammalia). Acta Theriologica Sinica, 15(3), 181-197.
- Harris R B, Cai G. 1993. Autumn home range of musk deer in Baizha Forest, Tibetan Plateau. Bombay Natural History Society, 90(3): 430-436.