

引用格式: 高峰, 刘洁, 牟方正, 等. 盐生植物饲用研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2025, 47(1): 46 - 59.

盐生植物饲用研究进展*

高峰¹ 刘洁^{1,2} 牟方正^{1,2} 曹雅楠^{1,2} 孙海霞^{*,1}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 100081;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 盐生植物作为非常规饲料资源, 具有突出的耐盐性、抗逆性、分布广等优势, 可高效利用边际土地, 减轻对传统饲料的依赖。但高盐生长环境对其营养、矿物质和代谢产物组成产生显著影响, 进而影响家畜饲喂价值。本文系统总结饲用盐生植物主要种类、营养、矿物质和次级代谢产物组分特征、盐胁迫对养分组成的影响和国内外盐生植物资源饲料化利用。同时探讨了饲喂盐生植物对家畜矿物质代谢和健康等方面影响及主要的利用方式, 指出了未来盐生植物饲用和安全性评价、功能活性物质挖掘、抗营养消除利用技术及饲用品种选育等研究方向, 为解决饲草资源短缺、畜牧业持续发展和盐渍土恢复提供新路径。

关键词: 盐生植物; 饲草; 营养价值; 家畜

DOI: 10.16507/j.issn.1006-6055.2025.01.003

CSTR: 32308.14.1006-6055.2025.01.003

Research Progress on Feed Utilization of Halophytes*

GAO Feng¹ LIU Jie^{1,2} MOU Fangzheng^{1,2} CAO Ya'nan^{1,2} SUN Haixia^{*,1}

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 100081, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, College of Resources and Environment, Beijing 100049, China)

Abstract: As an unconventional feed resource, halophytes have the advantages of salt tolerance, stress resistance, wide distribution, which can efficiently use marginal land and reduce dependence on traditional feed. However, the high salt growth environment has a significant impact on the composition of nutrients, minerals and metabolites, which in turn affects the feeding value of livestock. This paper systematically summarized the main species, nutrient, mineral and secondary metabolite components of forage halophytes, the effects of salt stress on nutrient composition, and the feed utilization of halophyte resources at home and abroad. At the same time, the effects of feeding halophytes on the mineral metabolism and health of livestock and the main utilization methods were discussed, and the future research directions of halophyte feeding and safety evaluation, functional active substances mining, anti-nutrient elimination utilization technology and forage variety selection were pointed out, which provided a new way to solve the shortage of forage resources, the sustainable development of animal husbandry and the restoration of saline soil.

Keywords: Halophytes; Forage; Nutritive Value; Livestock

* 国家重点研发计划课题“草甸草原生态牧场草畜平衡调控及智慧管理”(2022YFF1300604), 中国科学院战略性先导科技专项子课题“秸秆及牧草主要养分转化机制与安全性调控”(XDA26040202)

** E-mail: sunhx@iga.ac.cn; Tel: 0451-87080363

土壤盐渍化是一个世界性生态问题,同时也是资源利用问题。据联合国教科文组织(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)不完全统计,世界盐渍土面积为 $9.5438 \times 10^8 \text{ hm}^2$,我国盐渍土总面积约为 $9.913 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[1,2]。盐生植物是一类适合在盐渍土上生长繁殖的植物,近年来利用盐生植物开发盐渍土资源被各国学者公认为是解决资源短缺和环境恶化的有效途径。国外学者在盐生植物资源饲料化利用方面开展了大量研究,并取得了很多成功案例,但在我国还是一个相对于崭新的领域。2025 年,农业农村部发文关于《农业农村部关于实施养殖业节粮行动的意见》指出,应充分挖掘盐碱地等土地资源种草潜力,拓展饲草产业发展空间^[3]。利用盐生植物作为非常规饲料资源,促进边际盐渍化土地资源的开发利用,对我国盐渍土生态治理、饲草产业和畜牧业持续发展具有重要的理论和现实意义。本文围绕盐生植物营养特性及其对动物生产和健康影响展开论述,为盐生植物在畜牧生产中的利用提供理论基础。

1 盐生植物及其主要饲用种类

1.1 盐生植物的分类

盐生植物约占世界植物区系的 1%,是指能够在根际高浓度(大于 200 mM)离子(主要是 Na^+ 和 Cl^- ,也包含 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 和 CO_3^{2-})介质中生长并完成其生活史的植物^[4,5]。盐生植物可分为真盐生植物、泌盐盐生植物和拒盐植物(假盐生植物)三种类型,其中,真盐生植物可以将盐离子储存在绿色组织的液泡及肉质化的叶片或茎中,包括种类如碱蓬属(*Suaeda*)、猪毛

菜属(*Salsola*)、滨藜属(*Atriplex*)、盐穗木属(*Halostachys*)、盐节木属(*Halocnemum*)、盐爪爪属(*Kalidium*);泌盐植物一般具有盐腺或者其叶表面具有囊泡,可将自身体内的盐分直接分泌到体外或囊泡中暂时储存,包括补血草属(*Limonium*)、怪柳属(*Tamarix*)、米草属(*Spartina*)等;拒盐植物(假盐生植物)能够将盐离子贮存在根部木质部的薄壁组织中,从而减少盐分对植物地上部分的损害,常见的种类有芦苇属(*Phragmites*)、蒿属(*Artemisia*)和灯芯草属(*Juncus*)等^[6]。相对来说,真盐生植物由于耐盐能力强,植株内积累大量的盐分,对其营养和饲喂价值影响更为显著,因此需要更多研究关注。

1.2 国外盐生植物作为饲料资源的应用

盐生植物在干旱和半干旱地区用作饲料来源的历史长达数千年,目前利用较多的主要来自于禾本科、藜科和豆科。藜科的滨藜属是最有希望的饲用盐生植物之一,已引起澳大利亚、美国、以色列、印度等国家高度重视,处于地中海气候的国家/地区常被用其填补夏秋之际的饲料短缺,如欧洲南部、澳大利亚和叙利亚等,在阿根廷门多萨平原也被用来解决初冬的饲料不足^[7-10]。澳大利亚联邦科学和工业组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)也培育出高饲喂价值的 AnamekaTM 大洋洲滨藜品种^[11]。美国亚利桑那州立大学也筛选和培育出一些具有经济价值的盐生植物品种,如北美海蓬子(*Salicornia bigelovii* torr),其籽粕可用于替代绵羊日粮中其他蛋白饲料^[12],另外盐生植物木地肤(*Kochia prostrata*)也被报道是美国西部秋冬季节放牧的重要饲料资源^[13]。Shorepy^[14]等系统研究了盐地鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)和盐草(*Distichlis spicata*)作为饲草的潜力,利用其作为

饲料资源发展阿拉伯联合酋长国的绵羊和山羊生产系统。土耳其和伊朗等国家研究了多种盐生植物的饲料潜力,如盐角草属(*Salicornia*)和猪毛菜属(*Salsola*)等^[15-16]。埃及将盐生植物碱蓬引入家畜饲喂体系,通过科学的种植和管理,碱蓬成为了当地牲畜在干旱季节的重要饲料补充^[17]。俄罗斯全俄饲料科学研究所也培育出地肤属(*Kochia*)、猪毛菜属、优若藜属(*Eurotia*)、樟味藜属(*Camphorosma*)、蒿属(*Artemisia*)、甘草属(*Glycyrrhiza*)等盐生植物品种用于改良退化草原的饲草生产力^[18]。墨西哥已经研发利用海水灌溉种植盐生植物作为鱼场饲料的技术^[7]。这些盐生植物为当地畜牧业提供了重要的饲料资源补充。

1.3 国内盐生植物作为饲料资源的应用

我国拥有丰富的盐生植物资源,覆盖 71 科、242 属,共 587 种,其中藜科、菊科、禾本科和蝶形花科的盐生植物就占盐生植物总数的 52.3%^[19],这些植物大都具有较好饲用价值。我国新疆地区常将藜科的红叶藜(*Oxybasis rubra*)、野榆钱菠菜(*Atriplex aucheri*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、盐角草(*Salicornia europaea*)、高碱蓬(*Suaeda altissima*)、木地肤(*Bassia prostrata*)、驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*)等作为饲料^[20,21],中国科学院新疆生态与地理研究所与企业合作,初步形成集饲用盐生植物种植、青贮加工、养殖为一体的盐土农业经营模式,已改良利用重度盐碱撂荒地和生荒地 6000 余亩^[22]。中国科学院遗传与发育生物学研究所曹晓风院士团队近年来致力于豆科耐盐植物田菁的研究与应用,团队通过选育耐盐碱、固氮能力强的田菁品种,成功在我国多个地区的盐碱地上进行种植,并取得了良好的效果^[23],为未来耐盐豆科饲草在家畜生产的应用提

供了可能。中国科学院东北地理与农业生态研究所针对东北地区松嫩盐渍化草地碱蓬属植物种子及干草的营养价值、饲喂价值和加工技术开展了系列研究^[24-26]。在我国沿海地区,从美国引入的海蓬子经过十几年推广,已经实现本土化种植,其种子榨油后的残渣仍含有 40% 的蛋白,接近豆饼的粗蛋白含量^[27],可作为家禽、家畜饲料,其青枝和秸秆也具有较好的饲用潜力。另外四翅滨藜(*Atriplex canescens*)、驼绒藜、猪毛菜(*Salsola collina*)、骆驼刺(*Alhagi camelorum*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)等也引起了很多我国研究者关注^[28-32],在盐渍化地区具有很好的开发前景。

2 盐生植物营养及抗营养特征

2.1 盐生植物的矿物元素特征

盐生植物与传统饲草在营养方面存在诸多差异。最大的特征就是其为抵抗盐分胁迫,植株内会产生大量的无机和有机物质参与渗透调节。大部分盐生植物灰分含量高,尤其是藜科等盐生植物灰分含量更高。如,松嫩草地生长期碱蓬灰分含量高达 37.36%^[24];中东地区 25 种盐生植物灰分含量范围为 12.2% ~ 40.3%,均值 24.0%,最高为盐节木^[33]。这些灰分通常包含钠、钾、钙、硅等多种矿物元素^[6],其中钠是盐生植物灰分最重要组成部分,生长期的碱蓬干物质中钠含量高达 9.6%,滨藜属盐生植物钠含量超过干物质 8%。盐生植物高的灰分含量直接导致其总能含量相对较低,进而降低盐生植物的消化能和代谢能浓度。Sun 等^[24]2012 年 6 ~ 10 月份采集的碱蓬测定总能为 12.25 ~ 17.17 MJ/kg,低于非盐生植物的饲草总能含量。Norman 等^[34]认为低的有机物质消化率也是盐生植物代谢能较低的原因之一。Rogers 等^[35]也发现当土壤 NaCl 浓度从 0 增加

240 mM 时, 帽蕊木属盐生植物 (*Mitragyna speciosa*) 代谢能每公斤干物质降低 1.7 MJ。由此可见, 矿物质含量高和有效能值低是盐生植物最突出的两个限制因素。

2.2 盐生植物的蛋白组分

从蛋白营养组分来看, 藜科盐生植物蛋白含量高于禾本科, Norman 等^[34]报道六个藜科盐生植物 (包括四个滨藜属, *M. brevifolia* 和 *T. pergranulata*) 干物质中粗蛋白含量在 10% ~ 15%, 高于盐生禾草的粗蛋白水平。但盐生植物粗蛋白中包含大量参与渗透调节的硝态氮和甜菜碱、脯氨酸等可溶性非蛋白氮^[5]。据报道, 滨藜属植物 (*Atriplex barclayana*) 粗蛋白含量的 42% 为非蛋白氮^[36]。饲料干物质中硝态氮超过 5g/kg 对反刍动物具有毒性^[37], 超过 8g/kg 就会降低动物 60% 的采食量^[38]。尽管报道的一些盐生植物的硝态氮含量低于此阈值^[39], 但硝态氮含量及在家畜体内代谢转化仍需关注。另外需注意常规凯氏定氮方法测定值中不包括硝态氮含量, 因此盐生植物粗蛋白的测定需改进, 或者采用杜马斯燃烧法进行测定, 否则将低估盐生植物氮含量。甜菜碱在盐生植物中作为一种重要的渗透调节物质, 可协助植物应对盐胁迫。其含量通常在干重的 1% ~ 7%, 具体数值取决于植物种类和环境条件^[20]。从动物的营养角度来说, 甜菜碱是甲基的供体, 会在蛋氨酸循环和 B 族维生素合成方面发挥作用, 可以改变脂肪分配, 提高动物的耐热能力, 有助于肠道微生物的消化^[40]。

2.3 盐生植物的脂肪含量

更应引起关注的是很多盐生植物种子脂肪含量很高, 如, 吉林省西部盐碱地生长的碱蓬种子含油量为 24.39%, 不饱和脂肪酸含量为 88.65%, 尤其是亚油酸和亚麻酸的含量分别达到 56.94%

和 4.10%, 略低于亚油酸含量较高的红花籽油^[41]。异子蓬 (*Suaeda aralocaspica*) 籽油含量占种子干重 >29%, 并且棕种子和黑种子中不饱和脂肪酸含量约占 93%, 其中, 亚油酸 (>68%) 和油酸 (>20%) 是最丰富的脂肪酸^[42]。囊果碱蓬 (*Suaeda physophora*) 种子油含量为 27%, 其中 96% 为不饱和脂肪酸, 亚油酸为 75.4%, $\alpha + \gamma$ -亚麻酸占 5.7%^[43]。同时, 海蓬子、盐角草、盐生草等种子的脂类含量高, 具有较高的营养价值^[44,45]。在畜牧生产中, 盐生植物油脂可为家畜提供高能量, 弥补能量的不足, 同时可以提高蛋白质利用率、提供必需脂肪酸、改善饲料适口性、促进脂溶性维生素吸收利用等。而且高的不饱和脂肪酸含量具有改变动物产品中脂肪酸组成的潜力。

2.4 盐生植物的次级代谢物

盐生植物的饲用价值还与所含的植物次级代谢产物密切相关, 如草酸盐、黄酮类、多糖、花青素、单宁、香豆素、酚类和生物碱等化合物^[46,47]。各种化合物在动物体内效应受含量和结构影响, 其中一些可能为抗营养因子, 最需关注的是草酸。如, 滨藜属盐生植物 (*Atriplex spongiosa*) 植株内 75% 过量阳离子是依靠草酸来平衡的^[48]。麻莹等^[49]利用 NaCl、Na₂SO₄ 和碱性盐 NaHCO₃、Na₂CO₃ 模拟出 25 种盐度、碱度的复杂盐碱条件, 对抗盐碱植物碱地肤幼苗进行盐碱混合胁迫处理后发现, 幼苗有机酸含量不仅随盐度增高而上升, 而且碱度对其也有明显的提高作用, 在积累的有机酸中, 草酸的比例高达 90% 以上。草酸盐对于动物存在诸多健康隐患, 当绵羊日粮草酸含量达到 2% 时, 会降低绵羊采食量、养分消化率、日增重、瘤胃 pH 和血钙含量, 同时也改变了瘤胃微生物组成^[50]。许多藜科的盐生植物草酸的含量都

接近动物中毒的阈值^[51]。因此,如何在饲草加工或饲喂过程中消除或降低盐生植物草酸的不利影响也是值得探索的研究方向。

多糖和黄酮是盐生植物中两类重要的生物活性物质。国内学者针对碱蓬属的多糖和黄酮做了大量研究,发现碱蓬多糖含量可达到4%^[52],同时对OH、O²⁻和DPPH均有明显清除能力^[53]。如,花期的碱蓬总黄酮含量最高^[54];黄酮醇、黄烷醇和花色素苷是碱蓬中含量较高的三类黄酮类化合物,而且不同生长期内的碱蓬中总黄酮对DPPH的清除效果均好于OH的清除效果^[55]。盐地碱蓬中的黄酮类物质在动物体内也有良好的抗氧化特性,在D-半乳糖致衰小鼠模型中,盐地碱蓬中的黄酮类物质可通过提高肝脏中SOD、GSH-Px和CAT的活性,同时降低肝脏中MDA的含量,进而提高机体抗氧化能力^[56]。此外,萜类化合物作为一类广泛存在于盐生植物的天然有机化合物,具有抗菌、抗病毒和抗肿瘤活性。例如,从碱蓬中提取的萜类物质可改善机体内皮细胞的抗氧化能力^[57]。因此,盐生植物生物活性物质功能解析及功能性饲料添加剂开发是未来盐生植物资源利用的重要方向之一。

2.5 盐胁迫对盐生植物生物量及营养组成影响

盐生植物生物量和盐分含量与其所受到盐胁迫密切相关。地中海滨藜(*Atriplex halimus*)生物量在中等盐度条件下会显著增加^[58]。同时, Farzana等^[59]研究发现,无翅猪毛菜(*Salsola komarovii*)等盐生植物均在中等盐度(100 mM或200 mM NaCl)条件可以增加生物量,但在高盐度(600 mM或800 mM NaCl)条件下生物量会降低。还有研究分析拒盐植物芦苇(*Phragmites australis*)、真盐植物碱蓬(*Suaeda glauca*)、泌盐植物海滨蔴毛(*Aeluropus littoralis*)和怪柳(*Tamarix*

chinensis)在不同盐含量土壤中的植株内盐分含量。研究表明,随着土壤中盐分含量的升高,几种盐生植物含盐量显著增加^[60]。

在不同盐浓度环境下,同种盐生植物的营养物质组成和代谢物会发生显著变化。以丛尾草属盐生植物(*Trachyandra ciliata*)为例,其生理生化指标在不同盐浓度处理下表现出明显差异。具体而言,在0和50 mM盐浓度条件下,各项生理生化指标保持相对稳定;然而,当盐浓度升高至200 mM时,花蕾和叶片中的常量和微量元素含量、叶片水分含量和蛋白质含量也呈现显著降低。此外,花蕾的脂肪含量和中性洗涤纤维(Neutral Detergent Fiber, NDF)含量也显著减少。值得注意的是,随着盐度升高,重金属元素(如锌和铜)含量以及叶片灰分含量呈现增加趋势^[61]。此外,不同种类盐生植物在不同浓度盐分条件下蛋白含量变化也存在差异。例如,在0~600 mM NaCl溶液中,木地肤(*Bassia prostrata*)的粗蛋白含量从26%降至15%,而加德纳氏滨藜(*Atriplex gardneri*)的粗蛋白随着盐度的增加仅下降5%^[62]。同时, Li等^[63]在0、200 mM和500 mM NaCl条件下培养盐地碱蓬幼苗两天,采用超高效液相色谱法和串联质谱法进行检测,发现有253个差异代谢物。这表明盐处理增加了某些代谢物的含量,如核苷酸及其衍生物、有机酸、氨基酸、脂类(如 α 亚麻酸)和某些抗氧化剂(如槲皮素)的含量,这些物质可能与渗透耐受性、增加抗氧化活性有关。日中花(*Mesembryanthemum nodiflorum*)的 β -胡萝卜素、叶黄素和酚类物质含量也都受盐度影响,其中,酚类化合物在低盐度下栽培的植物中含量更高,而抗氧化活性则随着盐胁迫的反应而增加^[64]。

因此,应理清不同盐渍化程度土壤对盐生植

物主要养分和代谢产物影响及幅度,这些基础数据将为盐生饲草在家畜日粮中运用提供精准指导。

3 饲喂盐生植物对家畜影响

3.1 盐生植物中矿物质元素对家畜的影响

利用盐生植物饲喂家畜面临的主要问题是矿物质过量、缺乏或不平衡,大多数试验数据都来自滨藜属植物的研究结果,Ben Salem 等^[65]对已发表的滨藜属相关数据进行总结,发现不同地区滨藜属植物干物质中钠含量变化范围为 3.95% ~ 7.90%、钾为 1.9% ~ 5.6%,另外 S、Mg 和 Ca 浓度也基本都高于反刍动物的推荐量^[66]。对于大多数盐特别是钠、钾和氯,动物没有能力储存,钠采食过量会会降低直肠温度,加速脉搏、呼吸频率以及持水力,提高动物体液和血液的 pH,让动物产生碱中毒^[67-68]。盐采食过量还会改变动物的消化功能,使得瘤胃中原虫的浓度减少、食物在肠道的排出速率加快,进而降低动物对有机物质的消化率^[69]。此外,高水平的钠也会影响食欲^[70]和能量利用效率^[71]。基于这些研究结果,NRC^[67]确定了绵羊和牛能耐受 7% ~ 10% 氯化钠,大于这个范围就会引起采食量下降。

尽管高剂量的盐会降低动物对牧草的采食量、消化率和瘤胃微生物的生长,但高剂量的盐水平也表现出对动物有利的效应。如,当绵羊被饲喂油菜籽的同时饮用高盐的水时,产毛效率得到改善^[69]。当日粮中含有高水平钠(80 g/kg DM)和钾(30 g/kg DM)时,每 kg 有机物质的采食量会增加 50% 的产毛量,表明高盐日粮更利于羊毛的产生^[72]。

盐生植物不仅含有高浓度的钠,而且也积累其它的矿物质,Norman^[39]等报道盐生植物中的

钾、钙和镁浓度也可能分别超过反刍动物 2%、1.5% 和 0.6% 的最大耐受限度^[67]。但随着研究的深入,发现饲喂滨藜属植物或在滨藜属植物为主草地放牧,家畜却存在钙、镁、磷缺乏的可能。AlazzeH 等^[73]发现泌乳母羊每日饲喂 1 kg 滨藜鲜草 + 1.7 kg 精料,饲喂滨藜组 28 天后血清钙显著降低,但增加了磷、锰、钼和硒水平,而且硒含量超过了正常生理范围。Franklin-McEvoy 等^[74]研究了澳大利亚南部地区(该地区羊主要采食盐生的藜科灌木)草地空怀母羊的血中矿物质状况,发现绵羊的血钙水平低于正常值的下限,镁和磷在参考范围的下限,钾的浓度非常高。Sun 等^[24]也发现,绵羊采食不同浓度碱蓬干草日粮,随钠采食量增加,绵羊粪和尿的钾排泄量减少,血钾也显著增加,这可能是动物为维持细胞内外阳离子平衡而采取的适应策略。Mayberry 等^[75]发现单一饲喂滨藜(含 20% 的盐)的绵羊每日的 Ca、Mg 和 P 也表现为负平衡,每日的净流失量依次为 0.83 g、0.61 g 和 0.46 g。按这个速度计算,骨中的镁仅可以维持 17 天的流失量,因此长期饲喂滨藜属植物,可能引起钙、镁、磷缺乏症,同时引起血钾增加。

此外绵羊放牧在滨藜属草地,还可能遭受硫过量的毒害,Norman^[76]等测定滨藜的硫含量为 4.8 g/kg DM,日粮中含有 2.5 ~ 3.5 g/kg DM 的硫含量对绵羊而言是高的^[66],盐生植物的硫浓度常超过 0.5%^[77],如果硫不能充分的转变成瘤胃微生物蛋白成分,高水平的硫可能会降低采食量、减少铜的吸收,最终引起铜缺乏^[78]。孔令韶等^[79]对内蒙古阿拉善地区 37 种植物元素含量特征进行分析,发现植物中 Na 和 S 含量的关系呈显著正相关,表明二者吸收积累有很好的协同作用,因此钠离子过量的植物,其硫含量也有过量的

风险。

饲喂滨藜属植物造成钙、镁、磷等吸收效率降低的原因之一可能与日粮的阴阳离子平衡有关。当日粮中采食的阳离子远远高于阴离子时,动物易发生碱中毒,为减轻体内阳离子负担,可能引起体内钙、镁和磷代谢的改变^[67]。另外当日粮中阳离子和阴离子差值为 100 mequiv/kg DM 时,日粮表现为碱性,引起采食动物的血液和尿 pH 增加^[80],瘤胃 pH 也会增加,而矿物元素,尤其是钙、镁在瘤胃高 pH >6 的情况下溶解度低,因此吸收性降低。这可能是因为植物草酸含量过高,草酸被动物采食后在消化道中能与二价、三价金属离子如 Ca、Zn、Mg、Cu 和 Fe 等形成不溶性草酸盐沉淀而随粪便排出,从而降低这些矿物质元素的利用率。另外采食盐生植物增加了家畜的饮水量^[25],加快食糜在肠道的通过速率,从而降低瘤胃矿物质的吸收效率。总之,采食盐生植物后家畜矿物质代谢改变及内在机制需要进一步解析。

3.2 盐生植物对畜产品品质的影响

关于盐生植物对畜产品品质的研究大多集中在滨藜属盐生植物,Hopkins^[81]发现饲喂滨藜的绵羊肉比饲喂苜蓿草的风味更好;Pearce^[82]等通过放牧试验发现,滨藜属草地所放牧的羔羊肝脏和肌肉中沉积维生素 E 浓度更高,从而提高了肉色稳定性;Pearce^[83]证实以滨藜为主食的绵羊胴体脂肪含量低,并且瘦肉率高。Sun 等^[84]发现碱蓬籽实添加会显著增加羊肉中硒含量,进而改变肌肉、脂肪组织和肠内容物脂肪酸组成。我国盐碱区域培育了具有地方特色的畜产品,如宁夏滩羊、山东鲁西黄牛等地方品种,这些畜产品因其独特的生长环境和品质受到市场欢迎,因此,如何利用盐碱资源生产特色畜产品需要系统开发研究。

3.3 盐生植物在单胃动物上的应用

很多学者探索了盐生植物在单胃动物上的应

用。在肉鸡饲粮中添加 5% 盐地碱蓬,可显著提高肉鸡的平均日增重,降低料重比^[85]。盐地碱蓬在育肥猪饲粮中添加 1% 可降低料重比,添加 2% 和 3% 的盐地碱蓬可降低育肥猪单位增重消耗费用^[86]。

总之,盐生植物的离子和次级代谢产物的种类和含量对盐生植物的饲喂效果起着重要的决定作用,这些应该成为构建不同盐生植物饲喂技术的重要参考指标。

4 盐生植物利用方式

4.1 放牧利用

目前,盐生植物以放牧利用为主,很多试验评估了在滨藜属盐生植物为主的草地放牧绵羊的生产性能,发现最初(两周)体重快速增加,之后增重缓慢,最后体重减轻^[10,51,87,88]。最初的体重增加可能是由于高盐引起的水分在体内的积累,随后的体重增加或减轻可能是由能量和蛋白不平衡引起。完全依赖滨藜进行放牧,动物不能发挥最大的生产性能^[89]。但是滨藜作为家畜的部分日粮时,动物的生产性能得到改善^[51]。补饲一些谷物或干草可显著增加家畜的采食量和生产性能^[88]。Friha 等^[90]试验发现,25 公斤体重羔羊放牧在盐生植物占 61.76% 的草地放牧,每日补饲 300 g 精饲料,49 天后平均日增重 91 g,放牧加补饲试验生产性能改善可能是因为盐分得到了有效的稀释,同时滨藜含有高比例的非蛋白氮而干草提供了可消化能,饲料间的组合效应得到了发挥^[51]。为此,Smith 等^[91]在澳大利亚低雨量区设计了滨藜与蒺藜苜蓿、大黍、燕麦和大麦间作的复合系统,这种复合系统可以有效弥补滨藜植物的营养缺陷。

4.2 盐生植物与其他饲料组合应用

盐生植物因高盐含量导致苦涩或异味,单宁

和生物碱等抗营养因子以及较高的纤维含量也可能影响适口性,降低动物采食量,但可通过与其他适口性好的饲料原料混合饲喂来改善其适口性和营养价值,因此盐生植物通过适时收获制成干草,在饲喂过程中混合饲喂或使用全混合日粮(Total Mixed Ration,TMR)等技术,也是盐生植物规模化利用重要途径。Sun 等^[24]在羔羊日粮(精粗比 1:1)中,用 25% 碱蓬干草替代羊草,显著增加了羔羊日增重和有机物质消化率,但用 50% 碱蓬干草完全替代羊草时,尽管日粮蛋白水平增加,但羔羊日增重与对照组没有显著差别。Tosto 等^[92]研究发现日粮中含有 31.2% 滨藜干草可使山羊的体重和胴体重量增加最多。不同盐生植物在不同家畜日粮中适宜添加比例与其含盐量、营养成分、抗营养物质含量及动物营养需要密切相关。

4.3 盐生植物与其他饲料原料组合发酵

真盐生植物由于叶肉质化,在营养生长期水分含量高,直接制成干草较为困难,青贮,尤其与其他常规青饲料或秸秆混贮也是盐生植物利用值得探索的方式。青贮作为一种微生物发酵过程,能够营造酸性环境、抑制杂菌生长、提高适口性、减少营养损失,是盐生植物潜在可行的加工利用方式,赵振勇等^[22,93]报道盐地碱蓬与常规青贮料(如玉米、高粱等)可以按照 1:3 进行混贮,野榆钱菠菜和红叶藜也可以按 1:1 比例与常规青贮料混贮。曹雅楠等^[26]探讨了不同比例盐生植物碱蓬与全株玉米混合青贮对其营养组成、发酵品质及微生物群落的影响,综合对比发酵品质、微生物指标和营养品质,建议碱蓬与全株玉米混贮时,碱蓬比例应在控制在 60% 以下。马旭彤^[94]研究认为,残次苹果发酵物与四翅滨藜比例为 3:7 时青贮效果最好。并且以 3:7 制成的混贮饲料替代 75% 全

株玉米青贮和 4:6 制成的混贮饲料替代 50% 全株玉米青贮制成的 TMR 后进行体外发酵的发酵参数、降解特性和物种丰度较好。在四翅滨藜与残次香梨的混合青贮中,添加乳酸菌后可以显著提高乳酸含量^[95],未来不仅需要探讨不同盐生植物的青贮技术,同时也应深入开展盐生植物抗营养因子如草酸、硝酸盐等在青贮过程中转化规律,筛选功能菌株降解盐生植物中抗营养因子,以及探讨对应的青贮饲喂替代技术。

5 结论

盐生植物因其独特的耐盐性、丰富的营养成分以及多样的生物活性物质,在饲料化利用方面展现出巨大的潜力。但其饲料化仍面临诸多理论和技术上的挑战。未来的研究应注重多学科交叉,结合动物营养学和生态学等多领域的知识深入解析不同盐生植物营养组分特征,能量、蛋白和盐分等矿物质在家畜体内代谢及对动物生理健康的影响。系统评估盐生植物在家畜体内的消化代谢及安全性风险,建立不同盐生植物的抗营养因子消除加工和饲喂技术,优化其饲喂价值;深入挖掘盐生植物中具有抗氧化、抗炎、免疫调节等功能的多糖、多酚、黄酮类化合物等生物活性物质,加强对这些活性物质的提取、纯化及功能验证,探索其在动物饲料中的应用潜力。同时,鉴于地理环境差异衍生的盐生植物的多样性和差异性,不仅需要深入研究盐生植物的遗传特性与耐盐机制,还需结合现代生物技术和遗传改良手段,定向培育出高饲喂价值的耐盐新品种,推动盐生植物饲料化进程。综上,盐生植物的饲料化利用是多学科交叉的复杂系统工程,未来研究需综合考量生物学、营养学、农学等多个领域知识,以期克服现有挑战,实现盐生植物饲料化利用的全面突破。

参考文献

[1] 赵可夫,李法曾,张福锁. 中国盐生植物[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2013.

[2] 杨真,王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学,2015,47(4):125-130.

[3] 中华人民共和国中央人民政府. 农业农村部关于实施养殖业节粮行动的意见 [EB/OL]. (2024-12-31). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202501/content_6996448.htm.

[4] FLOWERST J, TROKE P F, YEO A R. Mechanism of salt tolerance in halophytes[J]. Annual review of plant physiology,1977,28:89-121.

[5] FLOWERS T J, COLMER T D. Salinity tolerance in halophytes [J]. New phytologist, 2008, 179: 945-963.

[6] 赵可夫,冯立田. 中国盐生植物资源[M]. 北京:科学出版社,2001.

[7] SHAMSUTDINOV N Z, SHAMSUTDINOVA E Z, ORLOVSKY N S, et al. Halophytes: Ecological features, global resources, and outlook for multipurpose use [J]. Herald of the Russian academy of sciences,2017,87(1):1-11.

[8] PAPANASTASIS V P, YIAKOULAKI M D, DECANDIA M et al. Integrating woody species into livestock feeding in the mediterranean areas of Europe [J]. Animal feed science and technology, 2008,140:1-17.

[9] OSMAN A E, BAHHADY F, HASSAN N et al. Livestock production and economic implications from augmenting degraded rangeland with *Atriplex Halimus* and *Salsola Vermiculata* in northwest syria [J]. Journal of arid environments,2006,65:474-490.

[10] MALCOLM C V, POL J E. Grazing and management of saltland shrubs [J]. Journal of agriculture, Western Australia,1986,27:59-63.

[11] NORMAN H C, MASTERS D G. Livestock preference and feeding value as key determinants for forage improvement-why not ask the consumers[J]. Animal production science,2023,63(12):1161-1176.

[12] SWINGLE R S, GLENN E P, SQUIRES V. Growth performance of lambs fed mixed diets containing halophyte ingredients[J]. Animal feed science and technology,1996,63:137-148.

[13] WALDRON B L, EUN J S, ZOBELL D R et al. Forage kochia (*Kochia prostrata*) for fall and winter grazing [J]. Small ruminant research, 2010,91(1):47-55.

[14] AL-SHOREPY S A, ALHADRAMI G A, AL-DAKHEEL A J. Growth performances and carcass characteristics of indigenous lambs fed halophyte *Sporobolus Virginicus* grass hay [J]. Asian-Australian journal of animal science, 2010, 23(5):556-562.

[15] TEMEL S, SURMEN M, TAN M. Effects of growth stages on the nutritive value of specific halophyte species in saline grasslands[J]. Journal of animal and plant sciences,2015,25(5):1419-1428.

[16] PIRASTEH-ANOSHEH H, MIRHOSSEINI A, AKRAM N A, et al. Forage potential of *Salsola* species in arid-saline rangelands [J]. Turkish journal of botany,2021,45(3):203-215.

[17] SHAER H E. Potentiality of halophytes as animal fodders under arid conditions of Egypt [J]. Cahiers options méditerranéennes, 2004: 369-374.

[18] SHAMSUTDINOV Z S H. Forage crops selection:

- progress and challenges[J]. Agricultural biology, 2014,6:36-45.
- [19] ZHAO Kefu, SONG Jie, FENG Gu, et al. Species, types, distribution, and economic potential of halophytes in China[J]. Plant and soil, 2011, 342 (1-2):495-509.
- [20] 李梅梅, 吴国华, 赵振勇, 等. 新疆 5 种藜科盐生植物的饲用价值[J]. 草业科学, 2017, 34 (2):361-368
- [21] 李从娟, 王世杰, 谢贻军, 等. 新疆盐生植物资源及开发利用[J]. 安徽农业科学, 2017, 45 (23):1-5
- [22] 赵振勇, 田长彦, 张科, 等. 盐碱地生物改良与盐生植物资源综合利用[J]. 高科技与生产化, 2020(9):292.
- [23] LUO H F, WANG X F, YOU C Q, et al. Telomere-to-telomere genome of the allotetraploid legume *Sesbania Cannabina* reveals transposon-driven subgenome divergence and mechanisms of alkaline stress tolerance[J]. Science China life sciences, 2023, 67(1):149-160.
- [24] SUN H X, ZHOU D W, ZHAO C S, et al. Evaluation of yield and chemical composition of a halophyte (*Suaeda Glauca*) and its feeding value for lambs[J]. Grass and forage science, 2012, 67 (2):153-161.
- [25] SUN H X, ZHOU D W. Effects of dietary supplement of seed of a halophyte (*Suaeda Glauca*) on feed and water intake, digestibility, performance and hematology parameters in lambs [J]. Livestock Science, 2010, 128(1-3):133-139.
- [26] 曹雅楠, 唐云梦, 李青洋, 等. 不同比例盐生植物碱蓬与全株玉米混合青贮对其营养组成、发酵品质及微生物群落的影响[EB/OL]. (2024-12-19). https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=kjkRiloLueciRuGy0LGj6g4DMSyYA-UewA5i3AbIT6xX9er6CPCTWK4RhmzkSQo9d_RA3ElyldpyA0dbhgHqedSfbBNbnzkRk8MYViMm4EeJA9PjsbWOR6dwne3tOPdgzVRy_qI_25jQ4Vec5DQEdkx8E447iJ6MfCkv342Oyxfn00oF7kH7DmPwAoF4a3Z&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [27] 吴雅静. 盐生植物海蓬子的利用价值与开发前景[J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (24):7439-7460.
- [28] 王帅, 李得禄, 楼金. 灌木饲料四翅滨藜的饲用价值及加工利用研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2021, 42(6):28-34.
- [29] 李敬忠, 阿拉塔. 关于在西北地区大力推广种植驼绒藜的建议[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(11~12):8-10.
- [30] 格根图. 非常规粗饲料柠条、猪毛菜、杨树叶的饲用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [31] 曹宏斌, 侯良忠, 张学斌, 等. 骆驼刺对后备羊生产性能、免疫力和经济效益的影响[J]. 中国饲料, 2023, 23:190-194.
- [32] 赵鹏, 徐先英, 刘虎俊, 等. 盐生植物盐爪爪种子营养成分评价[J]. 草业科学, 2022, 39(7):1399-1404.
- [33] EL SHAER H M. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the near east region[J]. Small ruminant research, 2010, 91:3-12
- [34] NORMAN H C, MASTERS D G, BARRETT-LENNARD E G. Halophytes as forages in saline landscapes: interactions between plant genotype and environment change their feeding value to

- ruminants [J]. Environmental and experimental botany,2013 ,92:96-109.
- [35] ROGERS M E , CRAIG A D , MUNNS R E , et al. The potential for developing fodder plants for the salt-affected areas of southern and eastern Australia; An overview [J]. Australian journal of experimental agriculture,2005 ,45 (4) :301-329.
- [36] BENJAMIN R W , OREN E , KATZ E , et al. The apparent digestibility of *Atriplex Barclayana* and its effect on nitrogen balance in sheep [J]. Animal production,1992 ,54 :259-264.
- [37] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrients and toxic substances in water for livestock and poultry [R]. Washington, DC: The National Academies Press,1974.
- [38] BURRITT E A , PROVENZA F D. Role of toxins in intake of varied diets by sheep [J]. Journal of chemical ecology,2000 ,26 :1991-2005.
- [39] NORMAN H C , DYNES R A , MASTERS D G. Nutritive value of plants growing on saline land [C]// Proceedings of 8th National Conference and Workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Lands (PURMYML) , Perth:CSIRO publishing,2002 :59-69.
- [40] 庞通,林冬梅,王海超. 甜菜碱的生物学功能及其在畜禽生产中的应用 [EB/OL]. (2024-12-10). https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=kjkRiloLueenzFR1AGCKIEflbCX502WezHhxHh0pP8GjVrmXyh77EGwljHahVrX4bnv_BDnEGwvHGwxf_-7aBK-fu3P_k-2WdP101U7_uE8NuMXo2H6Y1J1DDU1G6-IpgVpa3QO70NjMsQHocMJxgXtrAzGJONHsxO_OmIYWQhfMyFe27Zbuzw2UpauLnfw5&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [41] 于海芹,张天柱,魏春雁,等. 3 种碱蓬属植物种子含油量及其脂肪酸组成研究 [J]. 西北植物学报,2005 ,10 :2077-2082.
- [42] WANG L , ZHAO Z Y , ZHANG K L , et al. Oil Content and fatty acid composition of dimorphic seeds of desert halophyte *Suaeda Aralocaspica* [J]. African journal of agricultural research, 2012 ,7 (12) :1910-1914.
- [43] 牟书勇,程争鸣,包群,等. GC/MS 法分析囊果碱蓬种子油中脂肪酸组成 [J]. 干旱区研究, 2006 (3) :475-477.
- [44] 赵惠明. 盐生植物盐角草的资源特点及开发利用 [J]. 科技通报,2004 ,20 (2) :167-171.
- [45] 乔蕤,胡娜,周菁,等. 西北旱区盐生植物盐生草籽营养成分分析与评价 [J]. 中国油料作物学报,2019 ,41 (6) :956-960
- [46] MASTERS D G , BENES S E , NORMAN H C. Biosaline agriculture for forage and livestock production [J]. Agriculture, ecosystems and environment,2007 ,119 (3-4) :234-248.
- [47] GIORDANO R , SAIL Z , FREDSGAARD M , et al. Pharmacological insights into halophyte bioactive extract action on anti-inflammatory, pain relief and antibiotics-type mechanisms [J]. Molecules, 2021 ,26 (11) :3140.
- [48] OSMOND C B. Acid Metabolism in *Atriplex* I. Regulation of oxalate synthesis by the apparent excess cation absorption in leaf tissue [J]. Australian journal of biological science,1967 ,20 : 575-587.
- [49] 麻莹. 盐碱混合胁迫下抗碱盐生植物碱地肤的渗透调节及其离子平衡特点 [D]. 长春:东北师范大学,2007.
- [50] CAO Y N , SUN Y R , TANG Y M , et al. Effect of

- high oxalic acid intake on growth performance and digestion, blood parameters, rumen fermentation and microbial community in sheep [J]. Small ruminant research, 2024, 237: 107324.
- [51] MASTERS D G, NORMAN, H C, DYNES R A. Opportunities and limitations for animal production from saline land [J]. Asian-Australian journal of animal science, 2001, 14, 199-211.
- [52] 刘素华. 盐地碱蓬中植物盐的提取及其多糖功能性的研究 [D]. 天津: 天津科技学, 2017.
- [53] 庞庭才, 钟秋平, 熊拯, 等. 响应面分析法优化碱蓬多糖提取工艺及其抗氧化性分析 [J]. 南方农业学报, 2015, 46(7): 1280 – 1286.
- [54] 赵学思, 师仁丽, 李岩, 等. 碱蓬黄酮提取物的体外抗氧化及抑菌性研究 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 63-66, 71.
- [55] 田莹俏, 王乐乐, 阿不夏合满·穆巴拉克, 等. 盐生植物在畜牧生产中的应用研究进展 [J]. 草食家禽, 2023, (2): 1-7.
- [56] 牟浩. 盐地碱蓬黄酮的分离提取及抗氧化活性的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2009.
- [57] PARVEZ M L, AL-DOSARI M S, REHMAN M T, et al. New terpenic and phenolic compounds from *Suaeda Monoica* reverse oxidative and apoptotic damages in human endothelial cells [J]. Saudi pharmaceutical journal, 2021, 29 (10): 1102-1111.
- [58] BENDALY A, MESSEDI D, SMAOUI A, et al. Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex Halimus* induced by salinity [J]. Plant physiology and biochemistry, 2016, 103: 208-218.
- [59] FARZANA T, GUO Q, RAHMAN M S, et al. Salinity and nitrogen source affect productivity and nutritional value of edible halophytes [J]. Plose one, 2023, 18(8): 0288547.
- [60] 刘俊含. 黄河三角洲不同盐分梯度下典型盐生植物生态化学计量特征 [D]. 济南: 山东农业大学, 2021.
- [61] NGXABI S, JIMOH M O, AVELA S. Salinity influenced proximate, minerals, anti-nutrients and phytochemical composition of *Trachyandra Ciliata* kunth (wild cabbage): A promising edible halophyte [J]. Food science & nutrition, 2025, 13: e4755.
- [62] WALDRON B L, SAGERS J K, PEEL M D. Salinity reduces the forage quality of forage kochia: a halophytic *Chenopodiaceae* shrub [J]. Rangeland ecology & management, 2020, 73(3): 384-393.
- [63] LI Q, SONG J. Anaysis of widely targeted metabolites of the euhalophyte *Suaeda Salsa* under saline conditions provides new insights into salt tolerance and nutritional value in halophytic species [J]. BMC plant biology, 2019, 19(1): 388.
- [64] LIMA A R, GAMA F, CASTAÑEDA-LOAIZA V, et al. Nutritional and functional evaluation of *Inula Crithmoides* and *Mesembryanthemum Nodiflorum* grown in different salinities for human consumption [J]. Molecules, 2021, 26(15): 4543.
- [65] BEN SALEM H, NORMAN H C, NEFZAOU A, et al. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex Nummularia Lindl.*) in sheep and goat feeding [J]. Small ruminant research, 2010, 91(1): 13-28.
- [66] Standing Committee on Agriculture. Feeding standards for Australian livestock [M].

- Melbourne:CSIRO Publishing,1990.
- [67]NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Mineral tolerance of animals,2th edn[M]. Washington, DC:National Academy Press,2005.
- [68]MARAI I F M, HABEEB A A, KAMAL T H. Response of livestock to excess sodium intake. in: phillips, C J C, chiy P C. (Eds.), sodium in agriculture [M]. Canterbury: Chalcombe publications,1995:173-180.
- [69]HEMSLEY J A, HOGAN J P, WESTON R H. Effect of high intake of sodium chloride on the utilization of a protein concentrate by sheep. II Digestion and absorption of organic matter and electrolytes[J]. Australian journal of agricultural research,1975,26:715-727.
- [70]WILSON A D. The value of atriplex (*Saltbush*) and kochia (*Bluebush*) species as food for sheep [J]. Australian journal of agricultural research, 1966,17:147-153.
- [71]ARIELI A,NAIM E,BENJAMIN R W,et al. The effect of feeding saltbush and sodium chloride on energy metabolism in sheep [J]. Animal production,1989,49(3):451-457.
- [72]MASTERS D G, RINTOUL A J, DYNES R A, et al. Feed intake and production in sheep fed diets high in sodium and potassium [J]. Australian journal of agricultural research, 2005, 56(5): 427-434.
- [73]ALAZZEH A Y, ABU-ZANAT M M. Impact of feeding saltbush (*Atriplex Sp.*) on some mineral concentrations in the blood serum of lactating Awassi ewes[J]. Small ruminant research,2004, 54(1-2),81-88.
- [74]FRANKLIN-MCEVOY J, JOLLY S. Towards a better understanding of animal nutrition in pastoral south Australia [C]// Proceedings of Australian Rangelands Society Conference, Renmark: Australian Rangeland Society publishing,2006:155-158.
- [75]MAYBERRY D,MASTERS D,VERCOE P,et al. Mineral metabolism of sheep fed saltbush or formulated high-salt diet [J]. Small ruminant research,2010,91(1):81-86.
- [76]NORMAN H C, FREIND C, MASTERS D G, et al. Variation within and between two saltbush species in plant composition and subsequent selection by sheep [J]. Australian journal of agricultural research,2004,55(9):999-1007.
- [77]GRATTAN S R, GRIEVE C M, POSS J A, et al. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems-iii. potential implications for ruminant mineral nutrition[J]. Agricultural water management,2004,70(2):137-150.
- [78]UNDERWOOD E J, SUTTLE N F. The mineral nutrition of livestock,3rd edition[M]. New York: CAB International,1999.
- [79]孔令韶,王其兵,郭柯. 内蒙古阿拉善地区植物元素含量特征及数量分析[J]. 植物学报, 2001,43(5):534-540.
- [80]FAUCHON C, SEOANE J R, BERNIER J F. Effects of dietary cation-anion concentrations on performance and acid-base balance in growing lambs [J]. Canadian journal of animal. science, 1995,75:145-151.
- [81]HOPKINS D L, NICHOLSON A. Meat quality of wether lambs grazed on either saltbush (*Atriplex Nummularia*) or supplements of lucerne (*Medicago Satvia*) [J]. Meat science, 1999, 51

- (1):91-95.
- [82] PEARCE K L, MASTERS D G, SMITH G M, et al. Plasma and tissue α -tocopherol concentrations and meat colour stability in sheep grazing saltbush (*Atriplex Spp.*) [J]. Australian journal of agricultural research, 2005, 56(7):663-672
- [83] PEARCE K L, PETHICK D W, MASTERS D G, et al. The effect of ingesting a saltbush and barley ration on the carcass and eating quality of sheep meat [J]. Animal, 2008, 2(3):479-490.
- [84] SUN H X, ZHONG R Z, LIU H W, et al. Meat quality, fatty acid composition of tissue and gastrointestinal content, and antioxidant status of lamb fed seed of a halophyte (*Suaeda Glauca*) [J]. Meat science, 2015, 100:10-16.
- [85] 唐少刚. 黄须菜对肉仔鸡生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2007, 10:32-33.
- [86] 位孟聪. 盐地碱蓬对生猪育肥和血液生化指标影响的试验研究[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(22):68-70.
- [87] WARREN B E, CASSON T, BARRETT-LENNARD E G. Value of saltbush questioned [J]. Journal of the department of agriculture western Australia, 1995, 36, 24-27.
- [88] FRANKLIN-MCEVOY J. Improving the performance of sheep grazing on saltbush, b. agricultural science (honours) thesis [D]. Adelaide: The university of Adelaide, 2002.
- [89] MORCOMBE P W, PETTERSON D S, ROSS P J, et al. Soil and agronomic factors associated with cadmium accumulations in kidneys of grazing sheep [J]. Australian veterinary journal, 1994, 71(12):404-406
- [90] FRIHA M, HAMDY H, AYEB N, et al. Potential use of natural saline pasture for grazing lambs: effect on digestibility, growth performances, carcass and meat quality [J]. Small ruminant research, 2022:106669
- [91] SMITH A P, ZURCHER E, LLEWELLYN R S, et al. Designing integrated systems for the low rainfall zone based on grazed forage shrubs with a managed interrow [J]. Agronomy, 2022, 12(10):2348.
- [92] TOSTO M S L, DE ARAÚJO G G L, PEREIRA L G R, et al. Intake, digestibility, nitrogen balance and performance of crossbreed boer goats fed with diets containing saltbush (*Atriplex Nummularia* L.) and spineless cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) [J]. Tropical animal health and production, 2021, 53(3):361.
- [93] 赵振勇, 孙栋, 蔺秋花, 等. 盐地碱蓬综合利用研究进展[J]. 土壤科学, 2020, 8(4):164-168.
- [94] 马旭彤. 四翅滨藜与残次苹果发酵物混贮及饲用价值初步评定[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2024.
- [95] 赵熙来. 四翅滨藜与残次香梨混贮及饲用价值初步评价[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2024.

作者贡献说明

高峰:撰写文章盐生植物营养及抗营养特征部分, 整理文献, 修改文章;

刘洁:撰写文章盐生植物及其主要饲用种类部分;

牟方正:查阅文献;

曹雅楠:文章校对及参考文献修订;

孙海霞:确定选题, 构思和设计文章框架, 撰写文章摘要、饲喂盐生植物对家畜影响、盐生植物利用方式和结论部分, 整理、提炼和审校文章。