

巨菌草的饲用价值及生态功能研究进展

王靖宇^{1,2}, 王 巍¹, 高欣梅¹, 徐兴健¹, 福 英¹, 李乌日吉木斯¹,

王英杰¹, 乌日力格¹, 郭龙玉¹, 张淑艳²

(¹兴安盟农牧科学研究所, 内蒙古兴安盟 137400; ²内蒙古民族大学, 内蒙古通辽 028000)

摘要: 文章归纳了巨菌草生物学与营养特性、饲用价值方面、生态治理与修复等技术与应用方面的研究现状,总结了巨菌草在畜牧业中的价值优势以及在科尔沁沙地治理中的应用潜力,并分析了当前巨菌草研究已存在的问题。科尔沁沙地退化严重,生态脆弱。巨菌草对沙化土壤、退化土壤、贫瘠土壤有良好的修复作用,对科尔沁沙地生态改善有较好的利用价值。巨菌草具有产量高、品质优良、抗逆性强、根系发达与应用广泛等特点,应加快菌草产业与现代农业经济相融合,改善居民生态环境,助力乡村振兴。

关键词: 巨菌草; 饲用价值; 营养特性; 科尔沁沙地; 生态功能

中图分类号: S543.9

文献标志码: A

论文编号: cjas2022-0010

Forage Value and Ecological Function of *Pennisetum* sp.: Research Progress

WANG Jingyu^{1,2}, WANG Wei¹, GAO Xinmei¹, XU Xingjian¹, FU Ying¹, LI Wurijimusi¹,

WANG Yingjie¹, WU Rilige¹, GUO Longyu¹, ZHANG Shuyan²

(¹Xing'an League Institute of Agriculture and Animal Husbandry, Xing'an League 137400, Inner Mongolia, China;

²Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, Inner Mongolia, China)

Abstract: This paper summarizes the research status of *Pennisetum* sp. from the biological and nutritional characteristics, feeding value, and ecological management and restoration effect, sums up the value advantages of *Pennisetum* sp. in animal husbandry as well as its application potential in Horqin sandy land treatment, and analyzes the existing problems in the current research of *Pennisetum* sp. According to the results, the degradation of Horqin sandy land is serious and the ecology is fragile. *Pennisetum* sp. has not only a good restoration effect on sandy soil, degraded soil and barren soil, but also a good utilization value for the ecological improvement of Horqin sandy land. According to the characteristics of high yield, excellent quality, strong stress resistance, developed roots and wide application of *Pennisetum* sp., it is necessary to accelerate the integration of fungus grass industry and modern agricultural economy, so as to improve the ecological environment and contribute to the rural revitalization.

Keywords: *Pennisetum* sp.; forage value; nutritional characteristics; Horqin sandy land; ecological function

0 引言

近几年,随着国内经济的快速发展,人们的生活水平显著提高,对家畜产品的需求量急剧增加,反刍家畜的饲养量也急剧增加,反刍家畜饲养成为畜牧业的主要研究方向。由于天然牧草的产量低,而农副秸秆中

的营养含量低、产量低、适口性差,远远达不到食草家畜每日的营养需求;有些地区主要依赖精饲料玉米,存在成本较高、粗蛋白含量偏低等问题,这些都成为限制畜牧业快速和高质量发展的因素。

菌草是由国家菌草工程技术研究中心首席科学

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-07)。

第一作者简介: 王靖宇,男,1993年出生,内蒙古赤峰人,研究实习员,硕士,研究方向:作物育种与栽培。通信地址:137400 内蒙古自治区兴安盟乌兰浩特市乌察路农研巷9号 兴安盟农牧科学研究所, E-mail: 1293626520@qq.com。

通信作者: 高欣梅,女,1968年出生,内蒙古乌兰浩特人,研究员,学士,研究方向:作物育种与栽培。通信地址:137400 内蒙古自治区兴安盟乌兰浩特市乌察路农研巷9号 兴安盟农牧科学研究所, E-mail: wangboning9@163.com。

收稿日期: 2022-02-14, **修回日期:** 2022-09-30。

家、菌草技术发明人林占熺教授于1983年由南非引进国内,经20余年的研究已经培育出适宜国内气候土壤环境生长的草种^[1]。巨菌草因植株高大和产量高而得名,是一种高产优质的刈割型牧草^[2],一年可以刈割多次^[3]、营养价值丰富^[4]、适口性好,是家畜动物喜食的牧草;巨菌草植株高大、分蘖多、抗逆性强,同时在防风固沙、改善生态环境方面也有巨大优势。本研究主要对巨菌草生物学特性、饲用价值方面的研究以及对科尔沁沙地治理的潜力做梳理,以期为巨菌草在畜牧生产及科尔沁沙地治理中的应用提供理论参考。

1 巨菌草生物学特性

巨菌草隶属禾本科狼尾草属,原产于非洲,是一种适宜在热带、亚热带、温带生长和人工栽培的高产优质菌草^[5]。巨菌草生长最适宜的温度为25~35℃,在温度低于-4℃时巨菌草无法生存。在国内南方为多年生,而在北方地区冬季气温较低,无法自然越冬,为一年生^[6]。巨菌草植株直立、丛生,根系发达,其植株高大,株高一般为3~5 m,最高为7.08 m^[7]。巨菌草是一种光能利用率较高的速生草(C₄植物),据测定光合速率为50~70 mgCO₂/(cm²·h)^[8]。生长8个月左右的巨菌草节间数最高可达50个,节间长度9~15 cm,有效分蘖数15个,平均叶片数35片^[6],在热带、亚热带、温带地区种植,一般每公顷年产鲜草可达300 t以上,在水肥等条件优越的情况下每公顷年产鲜草可达450 t以上^[9]。巨菌草繁殖靠腋芽繁殖^[1],生物特性和栽植方式确定了其不具有生物入侵的风险^[10]。

研究发现,巨菌草最适宜的生长区域是水热条件良好的低海拔地区^[11],而它在盐渍地区^[12]以及干旱地区^[13]也能较好地生长。随着巨菌草内生固氮细菌资源的发掘与利用,它在促进植物生长、增强植物抗逆性、提高植物对土壤营养物质的利用率、改善荒漠生态环境等方面的研究价值也被挖掘出来^[14]。林兴生等^[15]研究不同年限巨菌草对群落的影响,结果表明,巨菌草可明显影响群落植物和昆虫多样性。此外,在荒坡地上栽植不同年限的巨菌草均能一定程度上提高土壤综合肥力,增加土壤中微生物群落功能多样性,对小区域生态环境能产生一定的生态正效应^[4]。在水土流失区,利用巨菌草进行丛栽形成绿色围篱,可以有效地缓解水土流失^[16-17]。福建农林大学利用巨菌草建植技术的小流域空间梯层治理模式,在砭砂岩地区栽植巨菌草,有效提高了土壤有机质和速效钾含量,降低了碱解氮和全钾含量^[8];同时提高了土壤中微生物的数量和多样性,从而改良土

壤,为植物生存提供更好的场所^[18]。在聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱研究中,巨菌草幼苗能在低于200 g/LPEG的胁迫下正常生长^[19]。利用巨菌草生长快、被沙土覆盖后生根快、抗旱能力强的特性,采用丛栽或扦插的方式种植,可以有效地治沙、肥沃土壤和恢复生态植被。利用巨菌草防风固沙已在黄河中游内蒙古阿拉善盟取得效果,用巨菌草设置复合草篱试验时,当复合草篱数量不断增加,接近地表的风速得到有效减缓;当风吹过第一个复合草篱时,在0.5、1、1.5、2 m处的风速分别较空旷沙地降低72.7%、66.7%、56%、29.3%,经4层巨菌草复合草篱的阻挡,近地面风速已呈微风^[17]。此外,徐磊等^[20]研究发现,巨菌草联合石灰对Cu、Cd污染土地有良好的修复作用,何书惠^[21]研究发现巨菌草对镉有较好的耐性和修复潜力。

综上,巨菌草因独特的生物特性,在盐渍、干旱、重金属污染地区都具有很强的适应性,在防治水土流失、沙地环境治理以及生态恢复等方面具有巨大的应用潜力。

2 巨菌草饲用价值研究现状

畜禽养殖离不开饲料的供应,其成本是养殖环节中支出占比最大的,因此降低饲料成本是养殖业获取盈利的关键。随着养殖规模的扩大,国内正面临着饲料缺少的问题,开发出非常规饲料资源是解决这一问题的途径。目前,国内进行了大量非常规饲料资源的开发利用研究,如棉籽粕^[22]、玉米^[23]、木薯渣^[24],并取得了良好的应用效果。巨菌草的特性决定其能在荒坡地区、荒漠地区和河坝地区等闲置的贫瘠地方种植,不但利用了闲置的土地资源,而且减少了饲料用粮种植面积,栽植的巨菌草可用于饲喂家畜,可有效缓解目前饲草料短缺的现状。

2.1 巨菌草的营养特性

营养成分和抗营养因子是衡量牧草营养成分的2个至关重要的指标^[25],而粗蛋白、粗纤维和粗脂肪等营养指标则是评价牧草饲用价值的重要指标。巨菌草在生长初期含有较高的粗蛋白和糖含量,测定结果显示,其粗蛋白质含量为18.64%,精蛋白质含量为16.88%,总糖含量为8.3%^[1,15]。巨菌草营养成分含量随生育时期推迟变化规律同其他牧草基本相同^[26-27]。

卜耀军等^[28]在陕西榆林试种成功后将其与紫花苜蓿的产量与营养成分进行比对,发现巨菌草地上生物产量约是紫花苜蓿的9.9倍,营养成分除粗蛋白和粗脂肪是紫花苜蓿的74.1%和68%外,粗纤维和粗灰分等其他营养成分均优于紫花苜蓿。邓振山等^[29]在延安市

研究巨菌草的饲用品质,发现粗蛋白和粗纤维的含量会随生育期的延长有明显的增加,且分别在拔节期和成熟期时含量达到最大值 13.85% 和 58.05%。陈碧成等^[30]在福建农林大学试验基地研究巨菌草不同生长时间下常规营养规律,发现粗蛋白在生长 90 d 时含量最高(9.19%),随着生育时期的延长而下降;粗纤维、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量均随生育期的延长而增加。中性洗涤纤维能直观地反映出纤维质量好与坏^[31],其含量与粗纤维呈正相关,也随生育期的延长、碳代谢的增强而增加;酸性洗涤纤维则反映饲草能量的高低,其含量越低饲草的消化率就越高,饲草的饲用价值越大^[32],家畜喜食度也就越高。

单宁通常被认为是牧草的抗营养因子,一是因为单宁与营养物质络合,影响动物吸收营养物质或者利用效率低;二是单宁味道苦涩,影响牧草饲料的适口性^[33-38];三是会降低反刍动物的摄食率^[39-40]。单宁的收敛性强,牧草中单宁过多会使动物体内的消化酶丧失活性,影响反刍家畜的消化速率,严重时会出现阻食效应^[41]。也有研究表明,当牧草干物质中单宁含量在 5% 以下不会对家畜产生影响,而达到 5% 以上时会出现味道苦涩情况,影响牧草的适口性,动物不愿意采食^[42]。谢焰锋等^[33]以生长 1、2、3 个月的巨菌草叶片为试验材料测定单宁含量,巨菌草在前 3 个月刈割饲喂反刍动物效果最好。

巨菌草因青绿、多汁等特点可制成青贮作为冬季反刍家畜的饲草,以解决冬季饲草饲料短缺的问题。巨菌草中可溶性碳水化合物的含量比较低,在制作青贮的过程中添加适量的酶制剂,可有效地促进其乳酸发酵,降低 pH,大大提高巨菌草青贮发酵的品质和营养价值^[43-45]。

综上,巨菌草适口性好,糖分含量高,是家畜喜食的饲草;粗蛋白含量略低于紫花苜蓿,其他营养成分优于紫花苜蓿;与黑麦草和甜高粱等传统牧草相比,巨菌草营养元素含量与其他牧草接近,但是巨菌草的产量远高于其他牧草;实际生产中,巨菌草生长到 1 个月左右时可用于饲喂猪和鹅等家禽,生长到 2~3 个月时单宁含量变高可用于饲喂反刍家畜;巨菌草在收获时可制作青贮,缓解冬季以及来年春季饲草短缺和干草营养低等问题。

2.2 巨菌草的饲用价值

贾顺斌等^[46]利用巨菌草、燕麦草和披碱草 3 种牧草,在一致的饲养管理和饲料等条件下开展饲喂绵羊增肥试验,结果表明,巨菌草饲草转化率显著高于披碱草和燕麦草;从经济效益方面分析,饲喂巨菌草和燕麦

草的经济效益要显著高于披碱草。由此可知,饲喂巨菌草的转化率更高、经济效益更显著、饲喂效果更佳,适宜推广种植。此外,巨菌草配合全价精饲料饲喂肉羊,效果与甜高粱相当^[47]。

顾丽红等^[48]设置试验组和对照组利用巨菌草饲喂北京鸭,其中对照组饲喂肉鸭全价饲料,试验组从 22 日龄时开始用巨菌草代替 40% 的饲料,每 7 d 称重一次,到 63 日龄时屠宰测定试验组和对照组北京鸭鸭肉的品质和有害物质含量。测定结果显示,试验初期试验组北京鸭的体重显著低于对照组,而到试验后期试验组北京鸭体重与对照组体重相当;饲喂巨菌草能够显著降低北京鸭鸭肉的脂肪含量;试验组和对照组,鸭肉内的有害物质含量均低于食品安全标准,但试验组鸭肉内有害物质含量明显低于对照组。

黄晓飞等^[49]研究巨菌草青贮饲料代替全株玉米青贮对奶牛的影响,结果表明,奶牛产奶量增加。巨菌草青贮营养成分中的粗脂肪含量、中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、粗灰分含量和无氮浸出物含量均高于玉米青贮,且均达到显著差异,粗蛋白质含量略低于玉米青贮。综上,巨菌草作青贮具有较高的饲用价值,通过调配其在饲草中的比例,可提高奶牛经济效益,满足奶牛在冬季以及来年春天对优质青贮饲料的需求。

3 巨菌草对科尔沁沙地生态治理的潜力

科尔沁地处北方农牧交错地区,是典型的干旱半干旱地带^[50],是一条长达 400 km 的沙带,总面积约为 6.63 万 km²;主要以平原为主,有低山丘陵,也有沙丘,类型全,复杂多样,东低西高,海拔由 180 m 升至 650 m 左右;属于大陆季风性气候,冬冷夏热,降水集中在 7—9 月。春秋少雨,大风多;全年光照条件充足,年均气温 3~7℃,年均降雨量为 350~500 mm^[51]。随着时间的变迁,气候不断变化,人们对草原过度放牧,造成生物多样性减少,植被降低,导致生态环境严重失衡,目前已经成为中国第二大沙地,有效治理沙地及预防沙地恶化对科尔沁地区的经济发展、社会和谐与人民幸福都具有重要意义。

巨菌草根系发达,适应能力和抗旱能力强。林兴生等^[5]的试验结果表明,在荒坡地种植巨菌草可以增加土壤微生物的数量和群落功能多样性,明显提高土壤肥力;从而改良土壤环境,为植物生存提供可以依靠的场所^[18]。福建农林大学利用巨菌草建植技术的小流域空间梯层治理模式,有效提高了土壤有机质和速效钾含量,降低碱解氮和全钾含量^[8];利用巨菌草设置复合草篱,当风经过 4 层巨菌草草篱后已呈微风,防风

成效良好^[17]；王强^[7]在乌兰布和沙漠黄河沿岸地段种植巨菌草，研究巨菌草留茬固沙能力，结果显示，沙障留茬高度一致时，株行距越小其固沙能力和防护效果越好，当设定行距 2 m、留茬高度 30 cm 时，沙障留沙能力强，生态与经济效益最佳，适宜在干旱地区推广种植；增加土层 0~20 cm 的土壤含水量，物种多样性等均有增加，而在设置沙障 3 年后有灌木和草本植物出现。吴强^[52]在乌兰布和沙漠刘拐沙头风蚀观测场观测巨菌草固沙能力，结果显示，巨菌草刈割后留茬能有效地控制流沙，其中一年植株样地的固沙能力最强，其他处理虽不如一年植株样地但均在固沙方面发挥了作用。

科尔沁沙地治理刻不容缓，利用巨菌草改善沙地的实践显示了其对沙地治理能力和潜力。2018 年科尔沁已经引种成功，并且当年产量达到 105 t/hm²；第 2 年在沙地和荒坡地均能较好地生长，在生长期进行刈割饲喂牛羊等，喜食度非常高；还有农户在林下进行种植，饲喂鸡鸭鹅等家禽，反响都不错。引入巨菌草，利用巨菌草根系发达等特性，可以有效地改变科尔沁沙地生态环境，提高土壤含水量、微生物群落等，大大提高土壤生产力；其次巨菌草是高产的优质牧草，可以为当地的养殖户缓解饲草短缺的问题，节约成本，提高养殖户的经济效益；最后可以引进食用菌栽培技术，进一步提高农户收入，带动当地经济发展。

4 结论

中国实行退耕还林还草已经多年，主要是通过国家的政策给农户发放补助，但这并不可持续，应该做到生态与经济效益相结合，以此来巩固退耕还林还草，这是解决问题的关键。巨菌草产量高、抗逆性强，在饲用价值方面和防风固沙方面已取得阶段性成果，巨菌草还可用作非木材纤维制浆造纸原料^[53]，2008 年开始，菌草资源被用于生物质发电和制造燃料乙醇等能源用途，具有广阔的应用前景^[54]。巨菌草在菌类培养基^[55-56]、制备纳米纤维素^[57]等方面也发挥着重要作用。因此人们对巨菌草越来越重视，对于它的研究也越来越广泛。

巨菌草为无性繁殖，在南方可为多年生牧草，在北方不能越冬为一年生，巨菌草种苗基地在海南，种苗在运输的过程中会产生水分缺失，导致部分种芽不能正常繁殖，大大增加种植的成本；利用巨菌草做食用菌繁殖香菇等菌草技术在南方已经成熟，在北方还未见详细报道。

5 展望

5.1 抗寒品种的研发

巨菌草在 -4℃ 时无法正常越冬，北方与高海拔地

区温度低，种植后成为一年生牧草。当前分子育种、诱变育种等育种技术已经成熟，应利用相应技术在巨菌草上开展试验研究，培育出适应北方与高海拔种植与越冬的高品质草种，这对国内北方及高海拔等冷凉地区大面积种植具有重大经济意义。

5.2 饲料方面的研究

巨菌草已经在饲用方面有了许多应用，但在饲料化方面还有巨大的潜力可挖掘。可利用巨菌草产量高、生长快的特性，在其生长至 1.5 m 时直接饲喂牛羊等家畜；也可利用青贮技术进一步改善巨菌草的营养价值，改善巨菌草的纤维构成，更便于家畜食用。

5.3 生态治理方面的研究

巨菌草在贫瘠土地和沙漠化土地已开展试验研究，初见成效，应通过收集的数据等参数，分析其作用及效果原理；与此同时，应在水肥方面优化试验设计，采集数据与分析其机理；这对巨菌草生态治理模式与推广都将有重要意义。

5.4 技术装备的研发

巨菌草的秸秆可以当作燃料，其产生的能量比其他秸秆高，有毒有害物质少，可作为生物质能源解决国内能源短缺的问题。但目前技术尚未成熟，巨菌草作为生物能源的利用效率低，应加大科研投入力度，研发新技术与装备，建立种植基地，增强可用能源储备，推动国内能源技术发展。

一方面要加强基础应用方面的研究，完善基础数据库与理论研究体系；另一方面，要利用现代育种手段加大抗寒抗旱品种的研究，从源头上解决巨菌草在北方与高寒地区越冬的问题，以便提高巨菌草在全国范围内的普及率，加快菌草产业在中国的发展与应用，让其发挥出本身应有的优势，提高经济效益。

参考文献

- [1] 林占熹. 菌草学(3 版)[M]. 北京: 国家行政学院出版社, 2013: 2-10, 53-55.
- [2] 丁铭, 白璐, 王龙清. 巨菌草引进试验及栽培种植技术[J]. 农村科技, 2013(12): 60-61.
- [3] 林占熹. 菌草学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 1-15.
- [4] 陈碧成, 林洁荣, 罗宗志, 等. 巨菌草不同生长时间的常规营养成分及氨基酸含量测定[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(1): 101-103.
- [5] 林兴生, 林占熹, 林冬梅, 等. 荒坡地种植巨菌草对土壤微生物群落功能多样性土壤肥力的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4304-4312.
- [6] 郑华坤, 林雄杰, 林辉, 等. 巨菌草研究进展[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(6): 681-687.
- [7] 王强. 巨菌草留茬沙障防风阻沙效益研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [8] 林占熹. 菌草栽培香菇[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008:

- 59-62.
- [9] 黄国勇.应用菌草技术治理宁夏荒漠化土地的研究与展望[J].防护林科技,2011(2):46-48.
- [10] 彭露,杨一帆,侯有明,等.福建省引种巨菌草的生物安全性评价[J].福建农业学报,2014,29(11):1132-1137.
- [11] 张进国,雷荷仙,黎纪凤,等.巨菌草在不同海拔高度的生长表现[J].贵州农业科学,2013,41(3):112-115.
- [12] 林占熹,林冬梅,苏德伟,等.不同类型盐渍地对巨菌草生物学特性的影响初探[J].西南农业学报,2015,28(2):675-680.
- [13] 谢长海,王培丹,刘艳玲,等.巨菌草对干旱胁迫的生理响应及相关性分析[J].北方园艺,2015(2):129-133.
- [14] 李志文.巨菌草作为能源草的特性研究[J].农业工程技术,2013(6):12-15.
- [15] 林兴生,林占熹,林冬梅,等.不同种植年限的巨菌草对植物和昆虫多样性的影响[J].应用生态学报,2012,23(10):2849-2854.
- [16] 陈科皓,韩霁昌,程杰,等.砒砂岩研究进展及利用前景[J].中国农学通报,2016,32(17):72-77.
- [17] 刘凤山,林辉,林兴生,等.巨菌草对生态脆弱区治理与修复的研究进展[J].贵州农业科学,2017,45(7):111-113.
- [18] 林占熹,林辉,林冬梅,等.一种种植菌草治理崩岗的新方法[P].中国专利,CN201210339668.X,2012-12-26.
- [19] 谢长海,王培丹,刘艳玲,等.巨菌草对干旱胁迫的生理响应及相关性分析[J].北方园艺,2015(2):129-133.
- [20] 徐磊,周静,梁家妮,等.巨菌草对Cu、Cd污染土壤的修复潜力[J].生态学报,2014,34(18):5342-5348.
- [21] 何书惠.巨菌草抗旱性能及重金属镉污染修复特性研究[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [22] TANG X, XIANG R, CHEN S, et al. Effects of fermented cottonseed meal and enzymatic hydrolyzed cottonseed meal on amino acid digestibility and metabolic energy in white leghorn rooster[J]. Pakistan journal of zoology, 2018, 50(3):959-962.
- [23] OCZKOWICZ M, SZMATOLA T, SWITKIEWICZ M, et al. Corn dried distillers grains with solubles (cDDGS) in the diet of pigs change the expression of adipose genes that are potential therapeutic targets in metabolic and cardiovascular diseases[J]. BMC Genomics, 2018, 19(1):864.
- [24] NAPASIRTH V, NAPASIRTH P, SULINTHONE T, et al. Microbial population, chemical composition and silage fermentation of cassava residues[J]. Animal science journal, 2015, 86(9):842-848.
- [25] 白史旦,杜逸.饲草品质育种研究进展[J].草业与畜牧,1992(3):16-19.
- [26] 刘太宇,郑立,乔宏兴,等.黄河滩区2种禾本科牧草不同生育期氨基酸瘤胃降解特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(2):80-86.
- [27] 刘太宇,聂芙蓉,刘庆华,等.黄河滩区6种牧草不同生育期粗蛋白和氨基酸含量的动态分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(1):11-16.
- [28] 卜耀军,李强,徐伟洲,等.巨菌草在榆林风沙草滩区的引种表现初探[J].陕西农业科学,2017,63(2):42-43,56.
- [29] 邓振山,王小江,商荣芳,等.刈割后不同施氮水平对延安市巨菌草农艺性状及饲用品质的影响[J].四川农业大学学报,2017,37(3):354-358.
- [30] 陈碧成,林洁荣,罗宗志,等.巨菌草不同生长时间的常规营养成分及氨基酸含量测定[J].贵州农业科学,2016,44(1):101-103.
- [31] 田瑞霞,安渊,王光文,等.紫花苜蓿青贮过程pH值和营养物质变化规律[J].草业学报,2005,14(3):82-86.
- [32] 杨效民.种植苜蓿与饲养奶牛[J].黄牛杂志,2003,29(3):53-58.
- [33] 谢焰锋,许林,戢小梅,等.巨菌草单宁成分的提取和测定[J].湖北农业科学,2015,54:4250-4252.
- [34] 郭彦军,张德罡,龙瑞军,等.高山灌木和牧草缩合单宁含量季节变化动态研究[J].四川草原,2004(6):3-5.
- [35] 李素群,吴自立.红豆草中单宁的分光光度法测定[J].草业学报, 1993, 2(2):52-55.
- [36] 牛菊兰,马文生.红豆草中单宁对过瘤胃蛋白的保护研究[J].草业科学,1995,12(3):60-62.
- [37] BARRY T N, FORSS D A. The content of vegetative lotus condensed tannin pedunculatus, its regulation by fertiliser application, and effect upon protein solubility [J]. Journal of the science of food & agriculture, 1983, 34:1047-1056.
- [38] 牛锋,赵宗蕃,徐继芳,等.营养酸模中抗营养因子:单宁酸动态变化规律的对比试验研究[J].中国草地,2002,24(3):46-51.
- [39] SARVANI B H, SUVARNA V C, KUMAR K H, et al. Effect of processing and fermentation on functional properties and on antinutritional factors in horse gram (*Macrotyloma uniflorum*) [J]. Current journal of applied science and technology, 2020, 9(6):38-45.
- [40] DREWNOWSKI A, GOMEZ- GARNEROS C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: A review[J]. American journal of clinical nutrition, 2001, 72(6):1424-1435.
- [41] 李海胶.单宁酸与腕蛇白醒和牛血清白蛇白相互作用的研究[D].太原:山西大学.2005.
- [42] OWEN-SMITH S. Condensed tannins deter feeding by browsing ruminants in a South African savanna[J]. Oecologia, 1985, 67(1):142-146.
- [43] 张诗,林芝余,豪闯等.酶制剂和绿汁发酵液对巨菌草青贮品质的影响[J].草业科学,2017,34(8):1755-1761.
- [44] 吴跃明,刘建新,刘丹,等.添加复合酶制剂与麸皮对玉米秸、稻草青贮发酵品质和养分消化率的影响[J].中国兽医学报,2004,24(3):298-303.
- [45] 王成章,王恬.饲料学[M].北京:中国农业大学出版社,2003:58-61.
- [46] 贾顺斌,唐俊伟,王晓彤.巨菌草等3种牧草育肥绵羊饲喂试验[J].青海草业,2019,28(4):3.
- [47] 刘长波,陈学俊,柴旭峰,等.玉米加中药制剂、巨菌草和甜高粱在肉羊育肥中的饲喂试验报告[J].中兽医学杂志,2016(6):10-11.
- [48] 顾丽红,刘圈炜,邢漫萍,等.巨菌草饲喂北京鸭的效果分析[J].中国家禽,2017,39(12):61-63.
- [49] 黄晓飞,孟庆翔,杨甲轩,等.巨菌草青贮替代全株玉米青贮对奶牛生产性能、乳成分和经济效益的影响[J].中国畜牧兽医,2017,44(7):1997-2002.
- [50] 刘新民,赵哈林,赵爱芬.科尔沁沙地风沙环境与植被[M].北京:科学出版社,1996:21-25.
- [51] 范富,张庆国,侯迷红,等.科尔沁沙地发展黑果枸杞秸秆营养钵栽培前景分析[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2018,33(5):441-446.

- [52] 吴强. 黄河乌兰布和沙漠段巨菌草生长特性和防风固沙效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [53] 鲁南, 沈锋, 王胜丹, 等. 巨菌草的生物结构及制浆造纸性能[J]. 纸和造纸, 2015, 34(3): 27-30.
- [54] 丁铭, 王龙清, 张旭, 等. 巨菌草与其他饲草的营养成分比较[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(35): 172-173.
- [55] 陈旭, 杨仁德, 杜慕云, 等. 巨菌草栽培杏鲍菇关键技术及其研发方向[J]. 南方农业, 2016, 10(4): 18-19.
- [56] 马晓龙, 汪志红, 杨绍丽, 等. 巨菌草栽培平菇配方筛选试验[J]. 食用菌, 2016, 38(2): 42-43.
- [57] 卢麒麟, 唐丽荣, 林雯怡, 等. 巨菌草制备纳米纤维素及其表征[J]. 草业科学, 2013, 30(2): 301-305.