

# 我国固沙植物资源化利用研究进展\*

孙姗姗<sup>1,2</sup> 刘新平<sup>1</sup> 何玉惠<sup>1</sup> 张铜会<sup>1</sup> 吕朋<sup>1,2</sup>

张腊梅<sup>3</sup> 车力木格<sup>1,2</sup> 王明明<sup>1,2</sup> 程莉<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院西北生态环境资源研究院奈曼沙漠化研究站,兰州 730000;

2 中国科学院大学,北京 100101;3 甘肃省通渭县林业和草原服务中心,甘肃通渭 743300)

**摘要:**我国干旱、半干旱沙区广泛采用种植植物的措施固定流沙,因其可以更持久地、可持续地发挥防护效能。固沙植物以多年生灌木、半灌木和草本植物为主,不仅可以良好地适应当地的自然条件,而且具有较高的生态经济价值。研究优良固沙植物的饲用价值、绿化价值以及药用价值,对合理开发利用沙区植物资源具有非常重要的意义。文中回顾了我国不同优良固沙植物的资源分布情况,综述了沙区植物资源利用概况,包括沙质地区固沙植物的饲料资源、绿化资源以及药用资源利用,探讨了我国固沙植物资源利用过程中的不合理现象及存在问题,提出固沙植物资源的可行性保护措施,为充分发挥沙区植物资源防风固沙、水土保持的生态效益以及最大限度地提高当地的经济效益提供参考。

**关键词:**固沙植物,资源利用,饲用价值,绿化价值,药用价值,中国

中图分类号:F326.2,Q948

文献标识码:A

文章编号:1001-4241(2020)06-0074-06

DOI:10.13348/j.cnki.sjlyyj.2020.0031.y

## Research Advance in Sand-fixing Plant Resources Utilization in China

Sun Shanshan<sup>1,2</sup> Liu Xinping<sup>1</sup> He Yuhui<sup>1</sup> Zhang Tonghui<sup>1</sup> Lyu Peng<sup>1,2</sup>

Zhang Lamei<sup>3</sup> Chelmg<sup>1,2</sup> Wang Mingming<sup>1,2</sup> Cheng Li<sup>1,2</sup>

(1 Naiman Desertification Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3 Tongwei County Forestry and Grassland Service Center, Tongwei 743300, Gansu, China)

**Abstract:**Plants are widely planted in the arid and semi-arid sandy land of China widely to fix quicksand, which can exert more enduring and sustainable protective function. Perennial shrubs, semi-shrubs and herbaceous plants are considered as the sand-fixing plants, as they can not only well adapt to local natural conditions but also have highly ecological and economic value. The study of the forage value, landscape value and medicine value of excellent sand-fixing plants is of important significant for reasonable development and utilization of plant resources in sandy land. We review the current distribution of different sand-fixing plant resources in China, and summarize their utilization in sandy areas, including the forage resources, landscaping resources and medicinal resources utilization. With the view to solving the unreasonable phenomena and existant problems in the utilization process of sand-fixing plant resources in China, the practically feasible measures are proposed for the sand-fixing plants protection. This review is to provide the

\* 收稿日期:2019-10-24;修回日期:2020-04-06;网络出版日期:2020-04-10。

基金项目:国家重点研发计划课题“科尔沁沙地生态产业优化与示范”(2017YFC0506706);国家重点研发计划课题“沙化土地快速稳定恢复技术集成和研发”(2016YFC0500907);国家自然科学基金“降水变化影响下放牧践踏对沙质草地植物幼苗定居的影响”(41801076);内蒙古自治区科技重大专项课题“内蒙古草原生态大数据平台构建与应用开发研究和内蒙古植物种质资源保护、开发利用及产业化示范”(Y749BJ1001)。

第一作者:孙姗姗,女,硕士研究生,主要从事干旱区植被恢复等方面的研究,E-mail: Ssshanshan93@163.com。

通信作者:刘新平,男,副研究员,主要从事生态水文与干旱区植被恢复等方面的研究,E-mail: liuxinping@lzb.ac.cn。

theoretical basis for give play to the ecological benefits of plant resources in sandy area such as wind prevention, sand fixation and soil and water conservation, and also to maximize their economic benefits.

**Keywords:** sand-fixing plant, resource utilization, forage value, landscape value, medicine value, China

我国是世界上受沙漠化影响最严重的国家之一。截至2014年,我国沙化土地面积有172.12万km<sup>2</sup>,约占国土陆地总面积的17.93%,集中分布于新疆、内蒙古、西藏、青海、甘肃5省(区)<sup>[1-2]</sup>。土地沙漠化主要是由于人类不合理的资源开发利用方式所导致的<sup>[3]</sup>。沙区干旱少雨、风沙频繁,通常会引一系列生态环境问题进而抑制当地经济的发展<sup>[4-5]</sup>。在我国干旱、半干旱沙区广泛采用种植植物的方法固定流沙<sup>[6-7]</sup>,具有保持水土和改善当地生态环境的作用,并且取得了非常显著的生态效益<sup>[8]</sup>。固沙植物中优良的固沙灌木、半灌木普遍具有较高的经济饲用价值<sup>[9]</sup>。随着林业用地面积的逐年增加,可利用牧业资源受到草场发展滞后的限制,因此固沙灌木作为牧草资源的补充或替代材料,对于畜牧业发达的地区是至关重要的发展方式<sup>[10]</sup>。近年来,越来越多的研究深入探索了固沙植物的绿化价值以及药用价值,以及全球气候变化背景下固沙植物的生态价值<sup>[8]</sup>。固沙植物具有保护沙地生物资源和改善生态环境的作用<sup>[11]</sup>,充分利用固沙植物的饲用价值、景观价值,发挥其带动当地经济发展的工业药用价值至关重要<sup>[3]</sup>。

当前,虽然有较多关于我国固沙植物资源分布、利用方式以及如何提高固沙植物资源综合利用价值的研究,但是缺乏对于我国固沙植物资源化利用研究的系统性总结。因此本文将在介绍不同沙区固沙植物资源的分布现状和利用方式的基础上,分析探讨我国固沙植物资源综合利用的方法,指出在我国固沙植物资源开发利用过程中存在的不足和亟待解决的科学问题,并给出切实可行的解决方案建议,以期为我国固沙植物资源化利用的可持续发展提供参考。

## 1 我国固沙植物资源的分布

自中华人民共和国成立以来,党和政府领导沙区人民展开固沙植物引种驯化工作,以期更好地治理沙漠。例如,中国科学院林业土壤研究所章古台工作站和辽宁省章古台固沙造林试验站成功引种了差巴嘎

蒿(*Artemisia halodendron* Turcz. et Bess.)、黄柳(*Salix gordejewii* Chang et SkV.)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等固沙植物,黑龙江、吉林、辽宁、河北、山西、内蒙古、陕西、新疆、宁夏等省(区)大面积种植了樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)、宁夏中卫铁路防沙工作站成功引入了固沙植物沙拐枣(*Calligonum arborescens* Litv.)、我国西北及内蒙古6省(区)的各个治沙站点成功引种了小叶杨(*Populus simonii* Carr.)、胡杨(*Populus euphratica*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia* Linn.)、梭梭[*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge]、白梭梭(*Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss. Et Buhse)、小叶锦鸡儿、柠条(*Caragana korshinskii* Kom)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、羊柴(*Hedysarum mongdicum* Turcz. Var.)、沙拐枣、怪柳(*Tamarix chinensis* Lour.)、老鼠瓜(*Capparis spinosa* L.)、沙柳(*Salix psammophila*)、胡枝子、沙蒿(*Artemisia desertorum*)等优良固沙植物。这些成功的引种工作使得固沙植物因地制宜地生长在我国不同的沙区,产生了非常明显的生态效益<sup>[12]</sup>。研究人员根据引种驯化和植被演替进展提出,应依据因地制宜地的原则在流动沙丘率先引种固沙先锋植物,在半固定、固定沙丘上选择混种优良固沙植物<sup>[13]</sup>。现今我国固沙植物资源分布情况为:毛乌素沙地有680种分属71科350属,浑善达克沙地有2166种分属170科784属,科尔沁沙地野生药用植物资源有63种分属32科57属,呼伦贝尔沙地有野生植物资源1400多种。先锋固沙植物差巴嘎蒿、褐沙蒿(*Artemisia halodendron*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch)已广泛种植在内蒙古、辽宁省西部,科尔沁沙地、乌珠穆沁沙地、呼伦贝尔沙地、毛乌素沙地,腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠;沙拐枣、甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、怪柳和沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)大面积生长在内蒙古、新疆、甘肃、宁夏、青海和陕西等地区。

## 2 固沙植物的利用价值

### 2.1 岩黄芪属固沙植物

羊柴为优良的固沙先锋植物和水土保持植物<sup>[14]</sup>,其花瓣可用来制作干草饲料,粗老茎秆可制作草粉,叶片翠绿,花冠美丽。花棒花期时间长、枝叶茂盛、花序长而繁茂,骆驼一年四季喜食,并且牛、羊、马喜食花棒的幼嫩枝叶和花。牧民可采收嫩枝、鲜叶、花序青饲或调制干草后补饲。其枝干可烧柴、树干可作农具柄、茎皮可搓麻绳、种子可榨油。山竹岩黄芪(*Hedysarum fruticosum* Pall.)粗蛋白含量、粗脂肪和无氮浸出物的含量较高,在灰分中含钙量较多,富含家畜生长发育所必需的氨基酸,可以制作优良的家畜饲料。野生山竹岩黄芪多为放牧利用,栽培的多用于刈割为饲草,各种家畜均喜食花期调制的干草<sup>[15]</sup>。这些优良的物种可用于解决陕西榆林、内蒙古鄂尔多斯市和阿拉善牧民的家畜饲料和薪柴问题,取得了优良的生态经济效益。

### 2.2 锦鸡儿属固沙植物

柠条幼嫩枝叶为牛羊、骆驼的优良饲料,对北方干旱、半干旱沙区畜牧经济建设和发展具有调节补充的作用,其种子可提炼工业润滑油,枝条是良好的薪炭材,花开茂盛时期还是优良的蜜源<sup>[16]</sup>。小叶锦鸡儿的嫩枝、花为优良饲料,绵羊、山羊以及骆驼等都喜食其嫩枝,春末时期喜食其花;其可引种作为庭院树、行道树、护岸以及护坡树;该植物入药后具有滋阴养血、通经、镇静、止痒等功效;种子可制作工业润滑油。中间锦鸡儿(*Caragana intermedia* Kuang et H. C. Fu)是抓膘牧草,春季绵羊、山羊喜食其嫩枝、嫩叶和花,骆驼一年四季喜食,马和牛不喜食;其枝、叶、花可制作补益类药材;其种子可榨油,茎可作为编织材料,树皮可作为纤维原料,花是良好的蜜源<sup>[17]</sup>。锦鸡儿属植物在宁夏盐池县的广泛种植不仅满足了羊只的庇荫需求,并且可为该区提供优良的饲料和薪柴。

### 2.3 其他固沙植物

因具有蒿子气味,蒿属植物在春、秋、冬季的牲畜适口性高于夏季,骆驼、山羊和绵羊于秋后直至冬、春季均喜采食,牛、马一般不采食<sup>[18]</sup>。褐沙蒿的嫩枝叶具有止咳、祛痰、平喘的功效,可以用于治疗慢性气管炎、哮喘、感冒、斑疹伤寒和风湿性关节炎等症;油蒿

的根、嫩叶和嫩枝、花蕾和种子均可入药<sup>[19-20]</sup>;白沙蒿的种子可用于消炎散淤等。这些蒿属的种子含有丰富的油脂,可以用来制作磁漆以及食品添加剂等<sup>[18, 20]</sup>。

沙拐枣的嫩枝生物量大、营养丰富,夏、秋季绵羊和山羊喜食嫩枝叶及果实,冬、春季动物采食率较低。骆驼一年四季喜食,马与牛不喜食,其为优良的薪柴、蜜源植物<sup>[21]</sup>。

紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)的嫩枝和嫩叶产量高,晒干后可做冬季饲料,供牛羊食用,还是优良绿肥。其枝条可编制筐筐,种子可提炼甘油及润滑油,花期可作为蜜源植物。

梭梭是骆驼的“抓膘草”,其细枝嫩叶、花、果实适口性较好;其根部寄生有传统的珍稀名贵补益类中药材肉苁蓉,具有较高的经济价值<sup>[22-24]</sup>。

沙棘植物是优良的饲料或饲料添加剂;枝叶繁茂、果实鲜艳;沙棘黄酮可抑制动脉硬化,降低血液中胆固醇、增加心脏收缩和舒张;沙棘油、沙棘汁可治疗缺血性心脏病和高血脂,可抗炎和抗辐射损伤,可作为治疗癌症的辅助药物、保健药物;还可制作饮料、食品,具有美容保健的功效;也可提取制作化妆品<sup>[25-26]</sup>。

柽柳属植物的嫩枝叶具有较高的营养价值,可供牛、驴、马等大牲畜食用,也是羊的理想饲料;其树姿优美、花穗美丽、花色艳丽、根系发达、叶纤枝细,是优良的绿化植物资源;入药可保肝、抗炎、抗菌、解热、镇痛等,可治疗麻疹难透、风疹身痒、感冒、咳喘、风湿骨痛等病症;还是优良的能源薪材<sup>[27-28]</sup>。

研究优良固沙植物营养成分含量及其比例,对于评价其饲用价值与合理开发利用沙区植物资源、建立高产优质的人工饲料基地具有重要意义<sup>[17]</sup>。沙区锦鸡儿属植物的粗蛋白平均含量高于岩黄芪属和蒿属植物,而紫穗槐的粗蛋白含量高于锦鸡儿属植物,达20.73%;锦鸡儿属与岩黄芪属以及蒿属植物中粗纤维含量较其他属植物高,其制作的粗饲料经济价值也相对会有优势<sup>[17]</sup>。综合表1中所列的14种优良固沙植物,应加大对沙区锦鸡儿属<sup>[29-31]</sup>、岩黄芪属及蒿属植物的资源化利用<sup>[17, 32]</sup>,尤其是进一步探索该类固沙植物的饲用化价值,充分利用优良固沙植物的饲用资源<sup>[14]</sup>。

表1 优良固沙植物不同生长期的营养成分含量

固沙植物	生长期	粗蛋白/%	粗纤维/%	粗脂肪/%	无氮浸出物/%	粗灰分/%	钙/%	磷/%	
羊柴	营养期	15.71	34.84	3.11	39.60	4.28	1.10	0.19	
岩黄芪属	花棒	营养期	14.92	27.28	3.13	39.79	5.16	1.26	0.20
	山竹岩黄芪	营养期	14.08	—	—	—	3.50	1.18	0.16
	柠条	营养期	16.00	30.73	4.18	36.75	4.87	1.00	0.13
锦鸡儿属	小叶锦鸡儿	营养期	17.25	—	—	—	10.56	0.77	0.14
	中间锦鸡儿	营养期	17.88	—	2.82	—	8.26	2.44	0.21
	差不嘎蒿	营养期	18.14	20.69	2.64	44.80	13.73	2.01	0.23
蒿属	黑沙蒿	花期	17.94	29.39	7.74	35.25	9.68	3.45	0.54
	白沙蒿	始花期	11.04	34.64	7.05	38.73	8.54	2.64	0.39
沙拐枣属	沙拐枣	营养期	9.28	18.42	2.78	52.38	7.94	1.69	0.11
紫穗槐属	紫穗槐	营养期	20.73	16.87	9.94	45.18	7.28	0.35	0.35
梭梭属	梭梭	营养期	12.66	20.43	2.83	41.54	14.62	1.20	0.11
柳属	沙柳	营养期	10.49	16.34	5.36	53.16	10.48	1.22	0.18
怪柳属	怪柳	营养期	9.03	21.46	4.07	52.51	12.93	—	—

### 3 固沙植物资源化利用进展

#### 3.1 在沙区恢复重建过程中对固沙植物资源的利用

近年来,许多沙区通过植被恢复重建来治理荒漠化,本着“适地适种”的原则丰富固沙植物种类,提高造林成活率。在乌兰布和沙漠东缘固沙植物资源利用过程中,由于物种的选择与配置不合理、绿洲外围天然植被破坏严重<sup>[33]</sup>,导致沙地荒漠化存在潜在的危险性。因此,当地政府采取措施,根据固沙植物种在当地沙区的作用合理配置灌木和草本的混种比例,对于流动沙丘及半固定沙丘上的植被进行多种群多规模格局研究,对绿洲外围已固定的植被合理管理、继续保护,进一步达到保护内部绿洲的目的。同时,陕北沙区加强沙地植物资源保护利用,加大人工干扰力度,改善林业发展质量;坚持生态与经济效益共发展<sup>[34]</sup>。毛乌素沙区目前对植物资源的开发利用仍比较落后,沙区牧民在经济利益的驱使下,非法开发和掠夺式的采收一些传统野生药材种类,导致资源的过度利用及对生态环境的破坏<sup>[35]</sup>,沙区地方政府通过建立自然保护区的途径保护珍稀物种和生物多样性<sup>[36]</sup>。

#### 3.2 固沙植物饲用资源的利用

胡枝子、锦鸡儿等固沙植物均具有较高的粗蛋

白、氨基酸和粗脂肪等营养成分含量,现今被开发利用为优质的家畜饲料。过去,由于对固沙灌木资源实行单一的封闭式采条、采种、燃烧利用使其经济效益不能完全发挥。许多耐牧固沙植物,在生长期的夏秋季节是牛、羊等草食畜的良好饲料,但是冬春季的饲料化利用会受到营养含量降低的限制,因此优良固沙植物的更高营养饲料化开发及其加工利用技术值得进一步深化研究<sup>[10]</sup>。现今,饲用灌木锦鸡儿单独青贮技术的成功研发为当地食草牲畜提供了一年四季可食用的多汁饲料,并且经济效益十分显著<sup>[37-38]</sup>。优良的固沙植物作为粗饲料供牲畜食用,具有为其提供能量、控制采食量、维持正常的生产性能、改善胴体品质、促进胃肠道的消化吸收以及降低饲养成本等作用。

#### 3.3 固沙植物绿化、药用资源的利用

沙区通过引种固沙植物、选育和咸水灌溉等技术,建成地区人工绿地。沙区园林绿化多以简单栽植树种为主,而具有观花、观果、攀援价值的植物利用较少<sup>[12]</sup>。近年来,沙区开始应用新植物种以期提高观赏效果、丰富城市园林绿化植物的种类<sup>[37, 39]</sup>,并且加大对山柑属植物<sup>[40]</sup>、野生的怪柳种质资源以及沙棘资源的保护、开发和利用,应用乡土树种来保持园林植物绿化的多样性和景观持续性,具有较

高的经济和生态效益<sup>[41]</sup>。地方政府越来越重视绿化树种开发利用的研究工作,采取有效手段不断提高树种丰富度<sup>[9]</sup>,不断培育地方已有固沙植物种来突出地方风格特色,协调好资源利用与环境保护之间的关系<sup>[41]</sup>。

我国沙区野生药用植物的蕴藏量较为丰富<sup>[42-43]</sup>,然而对其开发利用基本上处于无序状态。沙区居民乱挖、滥采现象十分严重,严重破坏了野生药用植物资源,致使优良药物种濒临灭绝。沙区政府采取有力措施恢复当地植物资源的可持续利用,要求对于各类药用植物资源如甘草<sup>[44]</sup>、羌活、大黄、冬虫夏草等适当采挖<sup>[45]</sup>,禁挖秦艽,建立优良药用植物种植基地<sup>[42, 46]</sup>。

## 4 固沙植物资源开发利用前景

### 4.1 固沙植物饲用资源开发前景

现在的固沙植物饲用资源利用品质、采食率和消化率都很低,并且大部分都被牧民废弃或当柴烧,资源浪费严重。未来对多数优良固沙可饲用植物均需要调制更先进的加工方法,并且需要确定适宜的平茬时间和方法<sup>[37]</sup>。单独青贮和添加剂青贮技术的发展无疑是固沙植物饲用化价值提升的关键,发展多种类、优良的固沙植物青贮饲料资源可以为我国牧业资源的发展奠定基础。在柠条草粉中加入微生物活性菌种,采用发酵后的微贮技术可以增加柠条粗蛋白的含量,降低其粗纤维的含量。添加剂青贮技术可以满足食草动物对不同营养成分含量的需求。同时,在未来的固沙植物饲用化价值探索中,精确了解其各种营养成分含量,研发优于青贮技术的饲料资源产业化技术,有助于解决我国沙区生态与经济双重压力大的问题。

### 4.2 固沙植物绿化、药用资源开发前景

现阶段对优良固沙植物的生物学特性利用还不够充分,较少选育抗旱节水型绿化植物<sup>[47]</sup>。未来固沙植物绿化资源的发展应重点培育具有观赏价值、色彩艳丽、季相景观协调、具有地方特色的乡土植物,丰富沙区园林绿化植物的种类<sup>[28]</sup>,继而增加沙区植物资源的多样性。同时,应加强法规知识宣传,杜绝乱挖乱伐固沙药用植物现象。扩大药材的种植面积,建立网络和实地药材交易市场,在传统草药利用技术的基础上,加强对药用植物资源的科学研究,实现沙质地区生态经济效益的可持续发展。

### 4.3 合理利用固沙植物资源、因地制宜实现沙产业可持续发展

沙产业需要改良发展能适应沙区环境并且具有经济价值的固沙植物。我国很多地区沙产业有了一定的发展,但是其产业化经营仍处于初始阶段。实现地区沙产业可持续发展,必须从思想源头上树立防沙治沙新观念,以循环经济为指导发展沙产业,加强政策调控及搞好宏观规划和服务,深化科研成果转化,提高地区沙产业竞争力。其中,应以禁牧和休牧并举的措施恢复退化的草地,以暖季和冷季牧场交替放牧、冷季半舍饲等方法将传统的游牧与集约经营相结合,逐步实现牧业的集约化生产。实行生态移民,减轻草原压力,促进西部大开发。还应合理协调沙产业与林业、牧业、农业的可持续性发展,坚持把封沙育林、育草作为改善生态环境的中心任务,通过恢复植被和改善生态,合理适度地开发利用、发展农、牧、林业及其加工业。

## 参 考 文 献

- [1] 王涛. 走向世界的中国沙漠化防治的研究与实践[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 4-6.
- [2] 屠志方, 李梦先, 孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析[J]. 林业资源管理, 2016(1): 1-5.
- [3] 牛存洋, 阿拉木萨, 刘亚, 等. 科尔沁沙地固沙植物根系与土壤水分特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(10): 106-111.
- [4] 王涛, 陈广庭, 赵哈林, 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 507-516.
- [5] 蒋德明, 宗文君, 李雪华, 等. 科尔沁西部地区荒漠化土地植被恢复技术研究[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 243-248.
- [6] 曹成有, 滕晓慧, 陈家模, 等. 不同固沙植物材料对土壤生物活性的影响[J]. 东北大学学报, 2006, 26(10): 1157-1160.
- [7] 张颖, 李伦, 曹成有. 科尔沁沙地典型人工固沙植物群落土壤硝化活性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1461-1466.
- [8] 赵哈林, 何玉惠, 岳广阳, 等. 风吹、沙埋对沙地植物幼苗生长和光合蒸腾特性的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 413-419.
- [9] 刘保清, 刘志民, 钱建强, 等. 科尔沁沙地南缘主要固沙植物旱季水分来源[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2093-2101.
- [10] 玉柱, 魏馨, 于艳冬, 等. 添加剂对尖叶胡枝子青贮发酵品质及体外消化率的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 73-79.
- [11] 刘志民, 马君玲. 沙区植物多样性保护研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 183-190.
- [12] 陈珩, 张志谦. 塔克拉玛干沙漠公路固沙植物立地条件分区评价[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 131-136.
- [13] 潘伯荣. 我国固沙植物引种的历史及展望[J]. 中国沙漠, 1987, 7(1): 4-11.
- [14] 霍建林, 王晓云, 漆建忠. 固沙灌丛及其饲用价值评价[J]. 水土保持通报, 1994, 14(7): 11-14.

- [15] 闫志坚, 高雪峰, 高天明. 6种优势固沙植物饲用养分含量及动态研究[J]. 饲料工业, 2007, 28(11): 19-23.
- [16] 赵哈林, 曲浩, 周瑞莲, 等. 小叶锦鸡儿幼苗对沙埋的生态适应和生理响应[J]. 西北植物学报, 2013, 33(7): 1388-1394.
- [17] 闫志坚, 扬持, 高天明, 等. 6种常用固沙植物的生态经济价值比较[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 30(3): 163-168.
- [18] 黄兆华, 刘斌心. 我国沙区重要蒿属植物的特性及应用[J]. 干旱区资源与环境, 1991, 5(1): 12-21.
- [19] 马全林, 卢琦, 张德魁, 等. 沙蒿与油蒿灌丛的防风阻沙作用[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1639-1645.
- [20] 陈栋, 周海燕, 李培广, 等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)生理生态特性的昼夜变化特征与调节机制[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1549-1556.
- [21] 苏培玺, 赵爱芬, 张立新, 等. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 西北植物学报, 2003, 23(1): 11-17.
- [22] 常学向, 赵文智, 张智慧. 荒漠区固沙植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)耗水特征[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1826-1837.
- [23] 徐世琴, 吉喜斌, 金博文. 典型固沙植物梭梭生长季蒸腾变化及其对环境因子的响应[J]. 植物生态学报, 2015, 39(9): 890-900.
- [24] 裴玉亮. 新疆不同地理种源梭梭属植物的生长特性比较及优良种源选择[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
- [25] 何士敏, 袁小娟, 汪建华. 中国沙棘属植物资源及其开发利用现状[J]. 现代农业科学, 2008, 15(11): 87-92.
- [26] 王琳, 冯建菊, 蒋学玮. 沙棘植物资源的综合利用[J]. 北方园艺, 2002(6): 24-25.
- [27] 惠学东, 唐建宁, 杨汉国, 等. 宁夏柽柳属植物开发与利用前景浅析[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(2): 44-46.
- [28] 黄振英, 董学军, 蒋高明, 等. 沙柳光合作用和蒸腾作用日动态变化的初步研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4): 93-99.
- [29] 陈海. 柠条的育苗栽植技术[J]. 现代园艺, 2019(18): 46.
- [30] 刘觉非. 小锦鸡儿大产业 助脱贫[J]. 内蒙古林业, 2019(5): 16-17.
- [31] 于井明, 吴林, 于景瑞, 等. 饲用灌木锦鸡儿单独青贮技术[J]. 内蒙古草业, 1998(1): 64-65.
- [32] 闫志坚, 杨持, 高天明. 平茬对岩黄芩属植物生物学性状的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2311-2315.
- [33] 李慧卿. 乌兰布和沙漠东缘固沙植被恢复重建与资源利用中的几个问题分析[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 182-185.
- [34] 迟富新. 陕北沙区植物资源发展现状与保护对策[J]. 现代园艺, 2012(24): 19.
- [35] 贺学林, 刘翠英. 毛乌素沙地资源植物研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(11): 196-202.
- [36] 周宏斌, 封斌, 高保山, 等. 陕北沙区林业资源保护与可持续发展[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 218-222.
- [37] 韩福贵, 徐先英, 尉秋实, 等. 民勤绿洲—荒漠过渡带典型固沙植物生殖物候对气候变化的响应[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 330-337.
- [38] 于景瑞, 王贵东, 鲍振生, 等. 饲用灌木锦鸡儿单独青贮技术研究[J]. 内蒙古畜牧科学, 1999(2): 19-21.
- [39] 汪海强. 沙漠地区防风固沙植物的选择[J]. 现代园艺, 2013, 10(20): 172.
- [40] 付涌玉. 山柑属植物在园林绿化中的应用综述[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 5863-5865.
- [41] 刘翠英, 贺学林, 张雄. 毛乌素沙地可用于园林绿化的植物资源及开发利用[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 91-95.
- [42] 刘生梅. 青海省大通县重点野生药用植物资源的分布利用及开发[J]. 青海农技推广, 2007(1): 26-27.
- [43] 解谦, 周凤, 张晓文, 等. 大同地区防风固沙植物资源调查[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2008, 28(4): 396-399.
- [44] 陈小娜, 邱黛玉, 蔺海明. 甘肃河西五种甘草属植物的植物学特性及药用价值研究[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 246-253.
- [45] 罗珍, 曹岚, 益西拉姆, 等. 西藏锦鸡儿属药用植物资源调查[J]. 西藏科技, 2019(5): 50-51.
- [46] 张国荣. 强度采挖甘草资源对干旱区环境的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1993, 7(3): 363-365.
- [47] 温都日呼, 王铁娟, 张颖娟, 等. 沙埋与水分对科尔沁沙地主要固沙植物出苗的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(9): 2985-2992.