

老芒麦研究进展

王传旗¹ 王红梅² 魏小星¹ 马祥¹ 周青平³

(¹青海大学畜牧兽医科学院, 810016, 青海西宁; ²新疆工程学院, 830023, 新疆乌鲁木齐; ³西南民族大学, 610041, 四川成都)

摘要 老芒麦 (*Elymus sibiricus* Linn.), 别名西伯利亚野麦草, 为优良饲用植物。老芒麦生态适应性强, 是青藏高原地区高寒草甸草原群落中的常见草种, 具有较大的经济和生态价值。文章综述了老芒麦在栽培技术、引种、产量、品质、生理生化、形态和分子等 7 个方面的研究进展, 分析了现阶段的优势和不足, 同时也展望了老芒麦未来的研究方向, 为老芒麦的进一步研究与利用提供参考。

关键词 老芒麦; 栽培措施; 生物产量; 形态指标

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



老芒麦 (*Elymus sibiricus* Linn.) 是禾本科披碱草属多年生疏丛型草本植物, 分布于中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川、西藏等省区, 在俄罗斯、朝鲜和日本也有分布^[1]。老芒麦叶量丰富, 草质柔软, 富含蛋白质, 适口性好, 是优良的饲用植物。此外, 其生态适应性强, 具有抗旱耐寒等特性, 可作为乡土植物抗逆性育种的理想材料。目前, 我国共培育出了“川草 1 号”老芒麦、“川草 2 号”老芒麦、吉林老芒麦、同德老芒麦、青牧 1 号老芒麦、农牧老芒麦、阿坝老芒麦和红原老芒麦 8 个老芒麦品种。我国老芒麦野生种质资源丰富, 目前我国收集到野生老芒麦种质 700 余份^[2], 这为老芒麦牧草的育种、栽培及其他方面研究奠定了基础。本文在前人研究的基础上, 分别从栽培技术、引种、产量、品质、生理生化、形态和分子等 7 个方面对老芒麦相关研究进行了回顾, 以期到老芒麦种质资源的开发利用提供参考。

1 老芒麦栽培技术方面的研究

我国关于老芒麦栽培技术方面的研究较多, 本文就近年来老芒麦的栽培技术进行了归纳和总结, 以期形成一套科学有效的栽培技术, 为老

芒麦的栽培及其他方面的研究提供依据。

1.1 播期、播量、播深、行距及施肥

老芒麦可以春播、夏播、秋播, 但以夏播或秋播为好; 播种方式以条播为佳, 行距 15~30cm, 收草播种量为 30kg/hm², 采种播种量为 22.5kg/hm², 播深 2~4cm^[3]。在四川省草原科学研究院牧草育种中心, 游明鸿等^[4]通过行距、播种量和施肥量对“川草 2 号”老芒麦产量影响的分析表明, 30cm 行距和 45kg/hm² 氮肥处理的草产量最高, 50cm 行距和 45kg/hm² 氮肥处理的种子产量最高。在四川省阿坝州红原县瓦切种子基地, 刘金平等^[5]研究表明, 肥料与除草剂混施可减少田间作业次数, 达到增肥和除草的双重效果。

1.2 种植方式

垄沟集雨种植模式是目前干旱及半干旱地区提高大田作物和豆科牧草产量的研究热点^[6-10], 该种植模式侧重于集雨效率和增产效果^[11-12]。在中国农业科学院草原研究所太仆寺旗试验基地, 李春荣等^[13]研究表明, 覆膜垄沟集雨种植老芒麦可以促进老芒麦的生长发育, 提高种植带内牧草产量。研究显示, 如果当地每年 6-8 月的降水量达到年总降水量的 65%, 则沟内集雨效率可达到 80% 以上^[6,10]。

作者简介: 王传旗, 主要从事高原牧草遗传育种资源研究与利用, E-mail: 18889046706@163.com

周青平为通信作者, 主要从事牧草育种栽培与草地培育改良研究, E-mail: qpingzh@aliyun.com

基金项目: 青海省科技厅重点实验室发展专项“青海省青藏高原优良牧草种质资源利用重点实验室”(2020-ZJ-Y03); 国家现代农业产业技术体系(CARS-34); 青海省科技厅基础研究项目“青藏高原地区不同年龄老芒麦种质资源的繁殖策略变化规律”(2018-ZJ-968Q)

收稿日期: 2020-03-23; 修回日期: 2020-05-08; 网络出版日期: 2020-11-16

与单播牧草相比,混播牧草具有产量高而稳定、营养完全且能减轻病虫害等优势。因而,牧草混播也是当前建植人工草地和草原生态恢复中常用的建植方式。在乌鞘岭南麓的天祝县抓喜秀龙乡双岔村,潘正武等^[14]利用箭舌豌豆、冷地早熟禾、“草原2号”苜蓿、沙生冰草、无芒雀麦、多叶老芒麦和当地燕麦进行了多年生混播草地建植试验,研究显示,“草原2号”苜蓿 $5\text{kg}/\text{hm}^2$ +无芒雀麦 $10\text{kg}/\text{hm}^2$ +多叶老芒麦 $15\text{kg}/\text{hm}^2$ 的混播组合表现优良。在青海省达日县打贮草站,施建军等^[15]研究表明,多叶老芒麦30%+中华羊茅70%和垂穗披碱草70%+西北羊茅30%的禾本科牧草混播组合下,第2年地上生物量较大。

1.3 刈割时间、频率及留茬高度

刈割对牧草产量和品质具有很大影响,应考虑牧草种类和外部环境因素确定刈割时间、频率和高度,如土壤肥力和降水量等^[16]。

在川西北补播老芒麦改良的天然高寒草地中,在老芒麦盛花期刈割群落地上生物量的75%,其产量和其他植物总产量均最高^[17]。在内蒙古呼和浩特市和林格尔县公喇嘛镇哈拉沁村,包乌云等^[18]研究表明,老芒麦年刈割1~2次可获得较高的产草量。在四川省草原科学研究院试验基地,雷雄等^[19]研究认为,“川草2号”老芒麦刈割高度为6cm时,其产草量和品质达到最佳。

综上所述,老芒麦栽培技术主要包括播期、播量、播深、行距、施肥、种植方式及刈割的时间、频率和留茬高度。根据老芒麦栽培技术研究经验,老芒麦以夏播为宜;在种植方式上建议混播,老芒麦可与禾本科、豆科牧草按比例进行混播;单播条件下,应条播,播量 $22.5\sim 30.0\text{kg}/\text{hm}^2$,播深2~4cm,行距30cm,氮肥 $45\text{kg}/\text{hm}^2$,且肥料与除草剂混施较好;老芒麦在盛花期刈割,留茬高度为6cm,年刈割1~2次。此外,在干旱和半干旱地区,垄沟集雨种植模式可较大程度提高老芒麦牧草的供水量和水分利用效率。

2 老芒麦引种方面的研究

引种对缓解当地草畜矛盾及生态环境保护具有重要的现实意义。

萨克达特^[20]在高寒地区优良牧草的引种试验中,对老芒麦、紫花苜蓿(抗寒品种“驯鹿”)和

红豆草在新疆巴伦台地区进行引种试验,通过出苗率、生育周期和生长速度的测定,表明老芒麦在该地区生长较好,有推广价值。

李莲香^[21]对4种多年生禾本科牧草引种试验表明,在平均草层高度和产量方面,多叶老芒麦明显高出垂穗披碱草、中华羊毛和冷地早熟禾,更适宜在青海省同仁县年都乎乡地区大量种植。

杨小梅^[22]对禾本科牧草引种试验研究结果显示,“川草2号”老芒麦的鲜草产量、植株高度、干鲜比和越冬率等指标较高,表现良好,可在黑龙江省双鸭山市宝清县宝清镇地区的草地建设中推广应用。

马彦彪等^[23]在祁连山北麓几种牧草引种试验中,对早熟禾、垂穗披碱草、老芒麦和斜茎黄芪4种牧草在海拔3000~3700m的甘肃省肃南县大河乡大岔村引种成功,其中老芒麦生长高度和产草量均高于当地扁穗冰草。

综上所述,老芒麦主要在新疆、青海、黑龙江和甘肃等地进行引种,与野生老芒麦的地理分布大致相同。鉴于老芒麦在各引种地区的优良表现,老芒麦可作为我国牧区及农牧交错带区域优良牧草引种的重要种质资源。

3 老芒麦产量方面的研究

近年来,关于牧草产量方面的研究已有较多报道^[24-25],并取得了丰硕的成果。本文从老芒麦牧草产量、种子产量和落粒性对老芒麦产量的影响进行阐述。

3.1 老芒麦牧草产量的研究

在新疆,阿那尔·比克巴依等^[26]对6个披碱草属牧草在天山北坡生长性能的评价结果表明,干草产量最高的是老芒麦,2017年和2018年的干草产量分别为 $11\ 610$ 和 $10\ 290\text{kg}/\text{hm}^2$ 。在青海省海晏县哈勒景乡永丰村,侯留飞等^[27]研究表明,同德老芒麦和红原老芒麦的初花期株高和鲜草产量均表现较好。

3.2 老芒麦种子产量的研究

在河北张家口塞北管理区,赵利等^[28]通过不同氮磷处理对老芒麦种子产量、产量组分及根系的影响研究,结果表明,单施 $90\text{kg N}/\text{hm}^2$ 时,种子产量达到 $592.26\text{kg}/\text{hm}^2$;单施 $90\text{kg P}/\text{hm}^2$ 时,种子产量达到 $680.61\text{kg}/\text{hm}^2$,并指出氮肥及氮磷互作

对青海同德老芒麦种子千粒重影响显著。在青海省同德县巴滩地区,兰措卓玛^[29]研究表明,热量条件对同德老芒麦牧草籽粒产量的影响大于水分条件,而光照条件对牧草籽粒产量的影响甚微。

落粒性是野生植物适应自然环境的一种生存策略。栽培条件下,老芒麦牧草的落粒性是制约其种子生产的一个极为不利的因素。研究表明,在川西北高原约 3 500hm²的“川草 2 号”老芒麦种子生产基地,由于老芒麦落粒特性的影响,其种子实际产量仅为 100~450kg/hm²^[30]。

综上所述,老芒麦在实际生产过程中,其鲜草、干草及籽粒产量较高。但落粒性是制约老芒麦种子产量的瓶颈,且增加了老芒麦种子收获难度和生产成本,不利于老芒麦品种的栽培和推广。

4 老芒麦品质方面的研究

老芒麦叶量丰富,草质柔软,适口性好,为牛羊喜食的牧草。加强老芒麦品质方面的研究,可为老芒麦牧草的开发利用提供依据。

4.1 老芒麦牧草青贮品质研究

不同添加剂对青贮饲料的发酵品质影响不同^[31-32]。研究表明,甲酸和丙酸通过抑制酵母菌和霉菌等好氧微生物的活动,能有效降低青贮饲料 pH 值和氨态氮含量,从而提高青贮饲料的品质^[33-34]。李平等^[35]研究表明,丙酸处理和甲酸钠处理均能够显著提高“川草 2 号”老芒麦牧草的可溶性碳水化合物和干物质含量,同时可使中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量显著降低。夏白雪等^[36]研究表明,添加“核心料”(一种复合型营养制剂,包含菌糠、酒糟、玉米、麦鼓和菜籽粕等营养成分),能有效降低老芒麦饲草 pH 值,并稳定其蛋白质含量。

4.2 老芒麦牧草矿物质元素研究

马晓云^[37]在高寒区 5 种牧草生产性能及品质评价中,测得同德老芒麦在开花期的粗蛋白含量为 15.4g/kg,粗脂肪含量为 34.3g/kg,粗纤维含量为 26.2g/kg,中性洗涤纤维含量为 55.6g/kg,酸性洗涤纤维含量为 29.3g/kg,粗灰分含量为 7.9g/kg,Ca 含量为 1.08g/kg,P 含量为 0.25g/kg。“川草 2 号”老芒麦从抽穗期到乳熟期,其粗蛋白质和可溶性蛋白质含量降低,中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和酸性洗涤木质素含量升高,中性洗涤不溶

性蛋白质和酸性洗涤不溶性蛋白质含量降低,碳水化合物组分和缓慢降解碳水化合物含量呈递增趋势,快速降解碳水化合物和非结构性碳水化合物含量呈下降趋势^[38]。

老芒麦品质研究主要集中在牧草的青贮和牧草的矿物质含量 2 个方面。在老芒麦牧草青贮研究方面,添加剂具有降低青贮饲草的 pH 值、稳定蛋白含量、提高可溶性碳水化合物等功能,是老芒麦牧草青贮试验研究的重要内容。在老芒麦牧草矿物质含量研究方面,抽穗期、开花期和成熟期是其研究的重要生育时期。老芒麦从抽穗期到乳熟期,其主要营养成分粗蛋白含量开始减少,而影响牧草适口性的矿物质元素如木质素含量则逐渐提高。

5 老芒麦生理生化方面的研究

老芒麦生理生化方面的研究中,种子萌发期和苗期是其研究的重要阶段。本文就老芒麦种子萌发期、幼苗期、抽穗期、开花期及灌浆期进行阐述。

5.1 老芒麦种子萌发期

种子萌发阶段是牧草生活史的起始阶段,对牧草幼苗建成及后期的生长发育具有重要作用。因此,该阶段是牧草研究的焦点。

研究表明,老芒麦胚根和胚芽的伸长与 Na₂CO₃ 溶液浓度呈负相关关系^[39-40]。王传旗等^[41]在盐胁迫条件下对西藏 3 种野生披碱草属牧草种子发芽影响研究中,发现老芒麦种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均随 NaCl 溶液浓度的升高而降低。

老芒麦种子萌发期的研究中,其常用的生理指标为发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长和胚芽长。

5.2 老芒麦苗期

逆境条件下,植物体内会产生活性氧(reactive oxygen species, ROS)并迅速积累^[42]。植物为避免 ROS 的损害,通常会启动一系列的防卫系统^[43]。植物体内参与防卫机制的酶主要是超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)等,这些酶通过抗坏血酸途径来清除体内的 ROS^[44]。可溶性糖对植物细胞膜有稳定作用,还

可起到保护酶类的作用^[45]。因此,在植物的生理机理研究中,保护酶系统和可溶性糖是其主要研究内容。

研究显示,随着低温胁迫程度的加剧,同德老芒麦幼苗叶片相对膜透性、叶绿素含量、可溶性蛋白含量、丙二醛含量、CAT活性、脯氨酸含量呈上升趋势,可溶性糖含量则先升后降^[46]。马晓林等^[47]研究表明,老芒麦叶片SOD和CAT活性均随着盐浓度的升高呈先增后降趋势。

综上,苗期老芒麦的生理生化研究主要在渗透调节物质、保护酶系统、细胞膜透性和水分代谢方面,而常用指标为SOD、CAT、POD、丙二醛、脯氨酸、叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白和相对含水量等。

5.3 老芒麦抽穗期、盛花期和灌浆期研究

老芒麦叶片气孔密度随生育期逐渐变大,在盛花期达到最大后略有下降^[48]。游明鸿等^[49]研究表明,“川草2号”老芒麦叶片光合速率随行距增大而增强,胞间CO₂浓度与光合速率变化趋势相反,蒸腾速率和气孔导度在行距75cm范围内与其光合速率变化趋势相一致。

老芒麦在抽穗期、盛花期和灌浆期阶段的生理研究主要在光合系统方面,常用指标为气孔导度、胞间CO₂浓度、蒸腾速率和光合速率。

6 老芒麦形态方面的研究

老芒麦颖果为褐色、长纺锤形,背腹扁平,具有角质层,无内外表皮间薄壁细胞,种皮为细胞结构,具外胚叶^[50]。

研究表明,叶舌长度、叶长、小穗长及小花数等性状是造成老芒麦表型差异的主要因素^[51]。熊潮慧等^[52]通过对来自俄罗斯(西伯利亚地区)、蒙古、中国新疆和青藏高原地区的34份老芒麦野生种质资源研究,结果表明,叶长、叶宽、单株干重和株高4个性状具有较大的变异系数,而千粒重和单株分蘖数具有较小的变异系数。鄢家俊等^[53]研究表明,内外颖长、内外颖芒长、旗叶宽、倒二叶片长、株高、内外稃长、外稃芒长、内外稃宽、穗中部节上每小穗的小花数、穗长、叶色、茎粗、灰度和穗中部节上的小穗数是引起老芒麦形态分化的主要指标。

老芒麦形态研究多集中在形态变异方面,常

用的指标为内外颖长、内外颖芒长、内外稃长、外稃芒长、内外稃宽、叶长、叶舌长度、叶宽、旗叶宽、倒二叶片长、叶色、穗中部节上每小穗的小花数、茎粗、灰度和穗中部节上的小穗数、小花数、穗长、千粒重、株高和单株干重等。

7 老芒麦分子方面的研究

7.1 老芒麦遗传多样性研究

简单重复序列(simple sequence repeat, SSR)和相关序列扩增多态性(sequence-related amplified polymorphism, SRAP)因具有多态性高、重复性好和共显性等优点^[54],已广泛应用于植物遗传育种的各个领域。

Xie等^[55]利用EST-SSR分子标记研究了青藏高原东北缘24份老芒麦的落粒差异,结果表明,供试材料多态位点为89.4%,种质内多态位点为52.0%,地理区域间材料多态位点为73.3%。顾晓燕等^[56]对老芒麦种质资源遗传多样性的SRAP分析表明,来自于青藏高原和蒙古的老芒麦种质间的平均遗传相似性值最小(0.830),而来自于俄罗斯和蒙古的老芒麦种质间的平均遗传相似性值最大(0.897)。

我国老芒麦种质资源丰富,通过对老芒麦种质资源遗传多样性分析,可对老芒麦种质资源的利用及育种提供依据。

7.2 老芒麦品种鉴定研究

老芒麦和垂穗披碱草均为穗状花序下垂,二者在形态上十分相似,对其进行准确区分比较困难。因此,利用分子标记手段对老芒麦进行鉴定成为研究焦点。

Xie等^[57]利用SCoT分子标记,构建了24份老芒麦种质的指纹图谱,可为鉴定老芒麦种质资源提供依据。张俊超等^[58]利用EST-SSR分子标记对国内的52份老芒麦材料进行遗传多样性研究,并构建了7个老芒麦品种DNA指纹图谱。雷云霆等^[59]筛选出的小麦EST-SSR引物Xcwc38c在垂穗披碱草中的多态性标记可以有效区分垂穗披碱草和老芒麦。

在野外对野生老芒麦种质资源进行收集和室内对老芒麦种质资源进行分类时,老芒麦和垂穗披碱草混淆是一个常见问题。在分子水平上,通过SSR分子标记建立老芒麦种质指纹图谱库,可

对老芒麦物种进行准确有效的鉴定,这对我国野生老芒麦种质资源的收集、保护与老芒麦品种的开发利用具有极其重要的现实意义。

8 总结与展望

8.1 总结

目前,老芒麦在栽培技术、引种、产量、品质、形态、生理生化和分子方面的研究均有不同程度的报道,并取得了一定的成果,但仍存在一些问题。

老芒麦生育时期研究不全面。老芒麦生育时期可分为苗期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、开花期和成熟期,而老芒麦在产量、品质和生理生化等方面研究阶段相对独立,不能全面反映老芒麦各个生育时期的动态变化状况。

老芒麦的研究基础薄弱,缺乏系统性。在栽培技术方面,老芒麦的栽培不仅包括播期、播量、播深、行距、施肥、种植方式及刈割的时间、频率和留茬高度,还有病虫害的治理、种子的收获时期及越冬管理等方面的研究。产量方面,遗传因素、环境因素和栽培措施都可能对老芒麦生物产量产生影响,而目前多集中于某一方面的因素进行研究。品质方面,老芒麦品质研究主要集中在牧草的青贮和牧草的矿物质含量 2 个方面,关于老芒麦的青贮设施和青贮方法研究尚未见报道。生理生化方面,在苗期老芒麦生理生化研究中,对老芒麦地上部分叶片进行了相关研究,而对地下部分的研究未见报道。形态方面,老芒麦形态测定指标较多,且多集中在形态变异方面,但同一生育时期的形态指标测定缺乏标准。在分子方面,对老芒麦的研究多用转录组分子标记,而利用蛋白质组、基因组和代谢组技术对老芒麦进行研究较少,尤其是同时利用多种分子技术手段分析老芒麦的差异表达基因尚未见详细报道。

8.2 展望

今后应对老芒麦的各个生育时期进行相关研究。在栽培技术方面,从老芒麦播种到收获的整个生育时期进行栽培管理措施研究,使之形成一套科学有效的栽培技术。在产量方面,应结合老芒麦品种自身特性、环境因素和栽培措施等方面挖掘老芒麦生产潜力;此外,还应加强老芒麦的落粒性研究,运用植物生理学和分子生物学手段,找出影响老芒麦落粒的生理因素或基因,筛选出

低落粒的老芒麦,为后期老芒麦的引种与栽培奠定基础。在引种方面,继续加强老芒麦优良品种的引种试验范围研究,扩大老芒麦牧草的种植面积,充分发挥老芒麦品种的优良特性并直接应用于生产。在品质方面,从添加剂、青贮方法和青贮设施等方面进行综合研究,探索青贮最佳组合条件,最大限度地提高老芒麦青贮品质。在生理生化方面,结合老芒麦地上部分和地下部分进行研究,阐明其生理生化各指标间的联系和相互作用。在形态方面,从老芒麦苗期到成熟期进行系列生育时期的形态指标测定,并制定相应的形态指标标准。在分子方面,借助多种分子生物学技术手段对老芒麦进行深入分析,并揭示他们之间的对应关系,如深入研究表达老芒麦落粒性状基因的对应蛋白基因,进而为老芒麦低落粒基因克隆和分子育种提供依据。上述工作的开展对老芒麦种质资源的选育、开发利用及老芒麦的推广具有重要的指导意义。

参考文献

- [1]郭本兆. 中国植物志(第九卷第三分册). 北京:科学出版社, 1987.
- [2]苏红锦,卓玉璞,王历宽,等. 我国老芒麦育种研究进展. 中国草食动物科学,2016,36(1):52-55,56.
- [3]张成才. 老芒麦栽培与利用. 中国畜禽种业,2019,15(7):43.
- [4]游明鸿,刘金平,张昌兵,等. 行距、播种量和施肥量正交对老芒麦产量影响的分析. 湖北农业科学,2011,50(24):5196-5199, 5205.
- [5]刘金平,游明鸿. 肥料和除草剂混施对老芒麦构件组成及生物量结构的影响. 中国草地学报,2010,32(4):42-48.
- [6]Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 2001, 50(3): 173-183.
- [7]Tian Y, Su D R, Li F M, et al. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas. *Field Crops Research*, 2003, 84(3): 385-391.
- [8]李小雁,张瑞玲. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究. 水土保持学报,2005(2):45-48, 52.
- [9]Jia Y, Li F M, Wang X L, et al. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 2006, 97(2/3): 167-175.
- [10]Li X L, Su D R, Yuan Q H. Ridge-furrow planting of alfalfa (*Medicago sativa* L.) for improved rainwater harvest in rainfed semiarid areas in Northwest China. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1): 117-125.
- [11]任小龙,贾志宽,陈小莉,等. 模拟不同雨量下沟垄集雨种植对春玉米生产力的影响. 生态学报,2008(3):1006-1015.
- [12]Li X Y, Gong J D. Effects of different Ridge:Furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches. *Agricultural Water*

- Management, 2002, 54(3): 243-254.
- [13]李春荣, 苏德荣, 何峰, 等. 覆膜垄沟集雨种植对老芒麦生长发育的影响. 中国草地学报, 2010, 32(2): 25-31.
- [14]潘正武, 卓玉璞. 高寒牧区多年生人工草地混播组合试验. 草业科学, 2007(11): 53-55.
- [15]施建军, 李青云, 董全民, 等. 高寒牧区多年生禾草混播试验初报. 青海草业, 1999(2): 6-9.
- [16]Hunt H W, Elliott E T, Detling J K, et al. Response of a C3 and a C4 perennial grass to elevated CO₂ and temperature under different water regimes. *Global Change Biology*, 1996, 2(1): 35-47.
- [17]刘琳, 钟红银, 杨春华, 等. 不同刈割时期和强度对改良草地老芒麦产量、品质及再生植株生殖特征的影响. 草地学报, 2017, 25(5): 1131-1137.
- [18]包乌云, 古琛, 薛文杰, 等. 不同刈割频次下老芒麦和草地雀麦的生产力形成机制. 草地学报, 2017, 25(2): 395-400.
- [19]雷雄, 游明鸿, 闫利军, 等. 不同刈割高度对“川草2号”老芒麦牧草产量与品质的影响. 草业与畜牧, 2016(1): 14-18.
- [20]萨克达特. 高寒地区优良牧草的引种试验. 中国畜牧业, 2016(15): 51-52.
- [21]李莲香. 四种多年生禾本科牧草引种试验. 草地学报, 2018, 26(1): 264-266.
- [22]杨小梅. 禾本科牧草引种试验研究. 中国畜牧业, 2014(7): 60-61.
- [23]马彦彪, 王俊, 冯明庭, 等. 祁连山北麓几种牧草引种试验. 农业科技与信息, 2011(2): 35-37.
- [24]耿慧, 徐安凯, 栾博宇, 等. 苜蓿产量性状的分析与表型选择研究. 草业与畜牧, 2013(6): 14-15.
- [25]张昌兵, 白史且, 李达旭, 等. 麦洼老芒麦种子生产比较试验报告. 草学, 2018(2): 24-26, 47.
- [26]阿那尔·比克巴依, 艾尔肯·达吾提, 提拉古丽·马木提, 等. 6个披碱草属牧草在天山北坡生长性能评价. 草食家畜, 2019(1): 29-33.
- [27]侯留飞, 王晓彤, 卢成保, 等. 高海拔地区6个披碱草属牧草品种比较试验. 畜牧与饲料科学, 2018, 39(3): 59-62.
- [28]赵利, 王明亚, 毛培胜, 等. 不同氮磷处理对老芒麦种子产量、产量组分及根系的影响. 草地学报, 2012, 20(4): 662-668.
- [29]兰措卓玛. 高寒地区同德老芒麦牧草籽粒产量与气候因子的关系. 中国草食动物科学, 2015, 35(5): 39-41.
- [30]鄯家俊, 白史且, 马啸, 等. 川西北高原野生老芒麦居群穗部形态多样性研究. 草业学报, 2007, 16(6): 99-106.
- [31]Krizsan S J, Randby T, Westad F. Effect of acetic acid, caproic acid and tryptamine on voluntary intake of grass silage by growing cattle. *Grass and Forage Science*, 2012, 67(3): 361-368.
- [32]Dunière L, Sindou J, Chaucheyras-Durand F, et al. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 182(1/2/3/4): 1-15.
- [33]Li Y B, Nishino N. Effects of inoculation of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus buchneri* on fermentation, aerobic stability and microbial communities in whole crop corn silage. *Grassland Science*, 2011, 57(4): 184-191.
- [34]Conaghan P, O'Kiely P, O'Mara F P. Conservation characteristics of wilted perennial rye grass silage made using biological or chemical additives. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(2): 628-643.
- [35]李平, 游明鸿, 白史且, 等. 丙酸和甲酸钠对“川草2号”老芒麦青贮品质的影响. 草业与畜牧, 2012(11): 1-4.
- [36]夏白雪, 金燕, 金玉兰, 等. 川西北高寒牧区老芒麦和燕麦裹包青贮品质的研究. 中国测试, 2015, 41(12): 49-53.
- [37]马晓云. 高寒区五种牧草生产性能及品质评价. 山东畜牧兽医, 2019, 40(6): 20-23.
- [38]司雪萌, 赵东辉, 盛宇飞, 等. 利用体外产气法及康奈尔净碳水化合物和蛋白质体系评价不同生育期老芒麦营养价值. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3293-3301.
- [39]窦声云, 周学丽, 莫玉花. Na₂CO₃胁迫对老芒麦和星星草种子萌发的影响. 草业科学, 2010, 27(9): 124-127.
- [40]石玉龙, 徐隆华, 窦声云, 等. NaCl和Na₂CO₃胁迫对同德老芒麦种子萌发及幼苗生长的影响. 草地学报, 2017, 25(3): 662-665.
- [41]王传旗, 德吉卓玛, 张佳佳, 等. 盐胁迫对西藏3种野生披碱草属牧草种子发芽影响. 草业与畜牧, 2016(6): 17-22.
- [42]Lam E, Kato N, Lawton M. Programmed cell death, mitochondria and the plant hypersensitive response. *Nature*, 2001, 411(6839): 848-853.
- [43]Alscher R G, Erturk N, Heath L S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(372): 1331-1341.
- [44]Cavalcanti F R, Oliveira J T A, Martins-Miranda A S, et al. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. *New Phytologist*, 2004, 163(3): 563-571.
- [45]Abercrombie J M, Halfhill M D, Ranjan P, et al. Transcriptional Responses of *Arabidopsis thaliana* Plants to As (V) stress. *Plant Biology*, 2008, 8: 87-102.
- [46]张尚雄, 尼玛平措, 徐雅梅, 等. 3个披碱草属牧草对低温胁迫的生理响应及苗期抗寒性评价. 草业科学, 2016, 33(6): 1154-1163.
- [47]马晓林, 赵明德, 王慧春, 等. 高寒牧草在不同温度和盐胁迫作用下的生理生化响应. 生态科学, 2016, 35(3): 22-28.
- [48]陈有军, 周青平, 刘文辉. 青藏高原老芒麦气孔密度及SPAD的比较. 草业科学, 2013, 30(9): 1374-1378.
- [49]游明鸿, 刘金平, 白史且, 等. 行距对老芒麦光合性能及种子产量的影响. 草业与畜牧, 2013(1): 10-13, 18.
- [50]刘军. 禾本科四种优等牧草颖果形态解剖学研究. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2010, 39(2): 182-185.
- [51]黄帆, 李志勇, 李鸿雁, 等. 老芒麦种质资源形态多样性分析. 中国草地学报, 2015, 37(3): 111-115.
- [52]熊潮慧, 马啸, 白史且, 等. 老芒麦野生种质的形态和农艺性状多样性研究. 草业与畜牧, 2010(9): 10-13, 17.
- [53]鄯家俊, 白史且, 张昌兵, 等. 青藏高原老芒麦野生种群生态特性与形态变异研究. 中国草地学报, 2010, 32(4): 49-57.
- [54]Li G, Quiros C F. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in Brassica. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001, 103(2/3): 455-461.
- [55]Xie W G, Zhao X H, Zhang J Q, et al. Assessment of genetic diversity of Siberian wild rye (*Elymus sibiricus* L.) germplasms with variation of seed shattering and implication for future genetic improvement. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2015, 58: 211-218.
- [56]顾晓燕, 郭志慧, 张新全, 等. 老芒麦种质资源遗传多样性的SRAP分析. 草业学报, 2014, 23(1): 205-216.
- [57]Xie W G, Zhang J C, Zhao X H, et al. Siberian wild rye (*Elymus sibiricus* L.): Genetic diversity of germplasm determined using DNA fingerprinting and SCoT markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2015, 60: 186-192.
- [58]张俊超, 谢文刚, 赵旭红, 等. 利用EST-SSR标记构建中国老芒麦品种DNA指纹图谱及种质遗传多样性. 草业科学, 2017, 34(10): 2052-2062.
- [59]雷云霆, 窦全文. 青藏高原老芒麦和垂穗披碱草SSR分子标记鉴别. 草业科学, 2012, 29(6): 937-942.

Research Progress of *Elymus sibiricus*

Wang Chuanqi¹, Wang Hongmei², Wei Xiaoxing¹, Ma Xiang¹, Zhou Qingping³

(¹Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; ²Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, Xinjiang, China;

³Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract *Elymus sibiricus* Linn., alias Siberian wild wheat straw, is an excellent forage plant. It has strong ecological adaptability and is the dominant grass species with great economic and ecological value in alpine meadow-steppe type rangeland in Qinghai Tibet Plateau. This paper summarizes the recent progress in the study on the cultivation measures, introduction, yield, quality, physiology and biochemistry, morphology and molecule of *Elymus sibiricus* Linn.. At the same time, the advantages and disadvantages at present stage are analyzed and the future research direction of *Elymus sibiricus* Linn. is also prospected. This is helpful for us to know more about *Elymus sibiricus* Linn. and can provide a scientific reference for further research and utilization of *Elymus sibiricus* Linn..

Key words *Elymus sibiricus* L.; Cultivation measures; Biological yield; Morphological index