

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0484

翟夏杰,张蕴薇,黄顶,王堃.中美牧草育种的现状与异同.草业科学,2016,33(6):1213-1221.

Zhai X J, Zhang Y W, Huang D, Wang K. Status, similarities and differences on forage breeding in USA and China. Pratacultural Science, 2016, 33(6): 1213-1221.



中美牧草育种的现状与异同

翟夏杰,张蕴薇,黄顶,王堃

(中国农业大学动物科技学院,北京 100193)

摘要:牧草育种工作是草牧业可持续发展的重要基础。本文总结了中、美两国在牧草种质资源、牧草育种技术、牧草育种体系的现状与差异。主要表现为我国牧草种质资源保存量较少,虽然做了大量评价工作,但利用不足;常规育种方法仍旧是两国培育新品种的主要模式,但是我国在投入和研究的细致程度上还有较大差距;美国的研究主体更加多元,重视新品种知识产权保护 and 产、学、研、推有效结合,共同促进了美国牧草产业的高速发展。了解中美牧草育种的现状与异同,可以为我国牧草育种的发展提供一定的思路。

关键词:牧草育种;种质资源;育种体系

中图分类号:S816;S33

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2016)6-1213-09*

Status, similarities and differences on forage breeding in USA and China

Zhai Xia-jie, Zhang Yun-wei, Huang Ding, Wang Kun

(College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Forage breeding is an important basis for the sustainable development of grass and animal husbandry. The status and differences of forage germplasm resources, the technology and system of forage breeding in USA and China were reviewed in this paper. Forage germplasm resources saved less and lack of utilization although a great deal of evaluation work accomplished between China than USA; conventional breeding method is still the main mode for cultivating new varieties, but there is a large gap in the investment and research degree between China and USA; the research subjects in USA are more diverse. They attach importance to the protection of intellectual property of new varieties, the effective combination of industry, learning, research and promotion, which are important to make the rapid development of forage industry in USA. The understanding about the similarities and differences between the two countries is helpful to provide some ideas for the forage breeding development of China.

Key words: forage breeding; germplasm resources; breeding system

Corresponding author: Wang Kun E-mail: wangkun@cau.edu.cn

作为草业的基础和核心内容,牧草育种工作一直是众多草业科学工作者努力的方向。2014年第75届世界种子大会以“小种子,大梦想”为主题首次在中国举行;2015年中央1号文件提出加快发展草牧业,支

持苜蓿等饲草料的种植;现阶段国家调整科研工作部署后对我国种业科研高度重视,首批启动种业安全专项研究。中国草业迎来发展历史上的大好时机,“小草大事业”也将逐步显现出来。牧草育种工作面对国内

* 收稿日期:2015-08-28 接受日期:2016-01-19

基金项目:河北省国家科研院校开展重大农技推广服务试点;公益性行业科技专项(201303060)

第一作者:翟夏杰(1989-),男,山西潞城人,在读博士生,主要从事草地生态方面的研究。E-mail: zhaixiajie1989@126.com

通信作者:王堃(1962-),男,内蒙古宁城人,教授,博士,主要从事草地资源与生态学研究。E-mail: wangkun@cau.edu.cn

牧草品种质量与数量的高标准要求,同样是挑战与机遇并存。本文从牧草种质资源的保存利用、牧草育种方法和牧草育种体系三方面对我国与美国牧草育种工作做出比较,以期认清自身发展现状,寻找与草业发达国家的差距,以便及时调整工作定位,推动我国牧草种业健康发展。

1 中美牧草种质资源保存利用及品种数量现状与异同

1.1 牧草种质资源保存利用差异明显

植物种质资源是育种家用来选育新品种的遗传原材料,包括物种、品种、生态类型、植株、种子、无性繁殖器官、花粉甚至单个细胞^[1]。美国目前收集保存的牧草及草坪草种质资源有3万多份,其中苜蓿属(*Medicago*)、三叶草属(*Trifolium*)、披碱草属(*Elymus*)和黑麦草属(*Lolium*)等主要牧草种质材料超过1.5万份。在美国国会授权开展国家种质资源计划(NGRP)的基础上建立种质资源信息网络(GRIN)^[2],网站拉丁文和英文均可识别,可以较为方便和全面地检索出所需种质资源包括标识名称、基本植物学特征、序号、收集形式、知识产权与材料转移协议、亲本、来源、用途、可用种子数及申请步骤等在内的诸多信息。

美国牧草种质资源保存利用工作主要集中在农艺性状及抗逆评价鉴定、优异基因挖掘和种质资源创新和利用。牧草保存中心每年对资源进行14种病害、6种虫害、32个农艺性状以及5个抗逆性状的综合评价;利用现代SSR/AFLP等各种方法完成了上千份材料的分子标记及遗传多样性评价工作;完成了一年生和多年生苜蓿核心种质的评价建立工作,完成了豆科牧草模式植物——蒺藜苜蓿(*Medicago truncatula*)的全基因组测序工作^[2]。此外,美国科学家总结了包括苜蓿属等牧草的亲缘关系和遗传多样性,明确了建立由营养品质、抗性目标性状构成的全球豆科作物种质资源网络,构建“基因数字银行”将是未来牧草种质资源工作的重要内容^[3]。

我国在种质资源保存设施建设方面,已建立了1个中心库,2个备份库,17个资源圃,组成了国家级草种质资源保存利用体系^[4]。中心库是位于北京的全国畜牧总站牧草种质资源保存利用中心。备份库是中国农业科学院草原研究所的温带草种质备份库和中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所的热带草种质备份库,分别可容纳3万份和5万份种质资源材料。早前开展的牧草资源调查工作表明,被子植物中可被家畜饲用的野生牧草有177科1391属6262种。其中,优等牧草295种,良等牧草870种^[5]。目前,我国

已保存草种质材料2.8万份^[6],数量可观,但是鉴于我国草地类型多样,主要及珍稀草种的全面评价不足,难以满足社会发展和生态保护需求,未来的牧草种质资源研究工作仍具有广阔空间。

新中国成立至今,科研人员在“973”、国家科技基础专项、农业部行业等项目的支持下,陆续开展了牧草品种评价工作,成果颇丰。以中国农科院草原研究所为主的多单位合作为例,累计完成1.2万份牧草种质资源整合,5000余份种质的繁殖更新及数据补充采集,110套牧草种质资源鉴定、评价规范的研究制定^[7]。在牧草的遗传多样性方面,我国科研人员从形态学到分子水平对多种牧草进行了检测和评价^[8-10]。例如,对箭筈豌豆(*Vicia sativa*)种质资源的复叶表型多样性研究认为,复叶大小、小叶表面形状、小叶着生方式等形态特征是其复叶表型性状构成的主导因子^[11];采用SSR分子标记技术可以对牧草种质资源的遗传多样性进行深入研究^[12]。

在牧草种质的网络资源中,中国作物种质资源网中牧草种质资源有1653份,豆科和禾本科占据98.7%,国外来源种质材料接近1600份;中国农科院草原研究所主办的中国牧草种质资源信息网中牧草种质资源记录数据为9889份,分属50科273属658种。虽然中美两国都建立起了种质网络资源(表1),但是我们网站对用户需求的解决程度较GRIN还要差很多。可见,我国收集保存的种质材料较少,遗传面太窄,不能为育种家提供更多、更好的选择^[13]。

1.2 我国牧草品种数量严重不足

全国草品种审定委员会每年更新审定通过的牧草新品种,截止到2014年,共有475个新品种通过审定。其中,育成品种为177个,比例较低。新品种生产能力、抗逆性与国外品种相比并不突出,部分品种出现了重度退化,品种性能显著降低,品种的质量急需进一步提高^[14]。美国每年进行生产的牧草品种豆科约为4000种、禾本科约为1500种^[15],以美国和欧洲国家为主的经济合作与发展组织,在2013年7月,其成员国互认的登记牧草品种达到5000多个^[2]。由于社会和经济的快速发展,我国牧草需求量急剧增长,在国内供低于求情况下,干草和草种进口量将继续保持高位^[16]。近10年的种子平均进口量为 1.8×10^4 t,出口量仅为 4.7×10^3 t,贸易逆差在不断扩大^[17]。

因此,牧草品种数量上的明显不足是导致中国在牧草相关贸易的市场竞争中处于不利地位的主要原因。牧草品种数量的缺乏除了技术和投入等方面的不足以外,育种目标的单一和模糊也是重要因素之一。

表1 中美牧草种质资源对比分析
Table 1 Comparison analysis of forage germplasm resources in China and USA

项目 Item	美国 USA	中国 China	参考文献 Reference
种质数量 Germplasm amount	>3 万份 >30 thousands	2.8 万份 28 thousands	[2,6]
种质资源评价指标 Evaluation index of germplasm resources	14 种病害、6 种虫害、32 个农艺性状以及 5 个抗逆性状 14 diseases, 6 pests, 32 agronomic traits and 5 stress tolerance	农艺性状、生物学及细胞学特性 Agronomic, biological and cytological characteristics	[2-3,13-14]
牧草全基因组测序 Forage whole genome sequencing	蒺藜苜蓿 <i>Medicago truncatula</i>	暂无 None	[2]
网络资源信息量 Network resource information quantity	>3 万份 >30 thousands	<1.2 万份 <12 thousands	[2]

美国的育种目标分化较为细致,会根据生产需要不断调整,进而很快应用到生产中。例如,对抗根结线虫 (*Meloidogyne* spp.) 的红三叶 (*Trifolium pratense*) 进行了全面系统的种质资源评价及品种选育工作,并对不同品种做出抗性等级分类,使其快速、高效地得到应用^[18-20]。但我国还是基本以提高产量为主要目标,忽视生产中的需求,多数品种难以转化和推广。未来牧草育种关注的性状及其相关的遗传变异特征应该包括产量、牧草质量、与其它种或品种的竞争与互作、非生物胁迫(目前及未来的预测胁迫、干旱、低温胁迫、盐胁迫、酸土胁迫、低磷胁迫)、生物胁迫、适应性、耐牧性和种子产量等^[21-22]。明确具体细致的育种目标,尽快培育出适合我国发展的不同牧草品种是当务之急。

2 中美牧草育种方法的现状与异同

2.1 牧草常规育种方法

在常规牧草育种方面,中美两国的牧草育种家通过选择合适的亲本进行杂交,在后代中通过单株选择、混合选择、集团选择或轮回选择等多种选择技术,培育出目标性状超过双亲的牧草新品种。杂交育成品种在国内牧草审定品种中比例较大,主要包括种内杂交和种间杂交。种内杂交研究多集中在羊草 (*Leymus chinensis*) 和紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)^[23]。种间杂交多为紫花苜蓿、披碱草 (*Elymus dahuricus*)、黑麦草 (*Lolium perenne*) 和冰草 (*Agropyron cristatum*) 等牧草^[24-27]。目前我国通过传统育种结合其它方法形成的紫花苜蓿品种有吉林农业科学院培育的公农号,甘

肃农业大学的甘农号,内蒙农业大学的草原号,新疆农业大学的新牧号和中国农业科学院北京畜牧兽医研究所的中苜系列等。禾本科方面主要有南农1号羊茅黑麦草 (*L. Perenne* × *F. arundinacea*)、蒙农杂种冰草 (*Agropyron cristatum* × *A. desertorum*) 等。

美国非常重视牧草种质资源的收集、育种及相关研究工作^[28-29]。在牧草杂交育种方面开展研究较早,早在1944年就有探讨杂交紫花苜蓿诸多优势的文章^[30],研究成果多集中在提高牧草产量和质量^[31-33]。此外,体外消化率、中性和酸性洗涤纤维、粗蛋白等指标与杂交苜蓿品质的关系,休眠对新品种培育的影响^[34],苜蓿杂交种产生不同的休眠效应与中亲优势的关系等内容均是研究的热点^[35]。耐盐牧草方面,北美海蓬子 (*Salicornia bigelovii*) 种质资源具有足够的遗传多样性,通过选择育种可以完成作物改良的计划^[36]。此外,以转基因为主的育种方法存在诸多争议,常规牧草育种技术在未来仍将保持重要地位。需要注意的问题是,我国育成的草品种多为传统育种方法育成,存在耗时长,效率低,品种更新换代周期长的劣势,很多品种已经使用数十年,如公农一、二号苜蓿品种已有近50年的历史^[14]。无论品种数量和质量均不能满足我国多种多样的地理气候和经济区域的需求。

2.2 牧草航天诱变育种方法

航天诱变育种技术是近年来快速发展的农业高科技育种新领域^[37]。目标种子经航天器搭载,在太空辐射、微重力、高真空、弱地磁等特殊环境因素作用下诱发突变后,在地面进行种植选育并育成新品种^[38]。美

国从20世纪80年代开始相关研究,主要集中在蔬菜领域^[39],牧草研究较少。我国的牧草航天育种试验于1992年由中国科学院植物研究所搭载紫花苜蓿和无芒雀麦(*Bromus inermis*)率先开始,2014年航苜1号紫花苜蓿问世,多叶率高达41.5%、产草量高和营养含量高是其基本特性^[40]。航天诱变比传统育种方法速度快,相对于转基因育种价廉、难度低^[41],随着航天育种技术的不断进步,成本的进一步降低,相信会有越来越多的牧草新品种产生。

2.3 牧草生物技术育种方法

在生物技术辅助育种方面,中国农科院畜牧所采用随机扩增多态性DNA标记(RAPD)辅助对耐盐苜蓿的选择,北京农业生物技术将分子标记技术用于多枝赖草(*Leymus multicaulis*)的抗黄萎病基因定位等。牧草基因组学及转基因在以黑麦草属为代表的禾本科牧草及以三叶草和紫花苜蓿为代表的豆科牧草中也已有较多研究^[42]。此外,刘鹏等^[43]对来自22个国家的43份野豌豆属牧草根尖细胞的有丝分裂中期染色体进行了核型分析,结果表明,染色体数目和核型分类分别有5种和6种,并从进化角度分析了该属种质的核型变化。燕丽萍等^[44]首次培育出具有耐盐碱能力的转基因苜蓿。但是,我国至今并没有转基因牧草品种商品化推广。

紫花苜蓿较其它植物的诸多优势^[45-46]使其成为美国最主要的作物之一,在北美、南美和一些欧洲地区,其种植面积共约为 3×10^7 hm²^[47]。统计资料表明,2011年,美国苜蓿干草产值超过10亿美元^[48]。因此,苜蓿育种投入较其它牧草高很多,成果也多,每年育成品种多达几百个^[49]。而我国,截至目前,草品种审定委员会已审定登记苜蓿属草品种只有79个,2014年新增“中苜5号”育成品种一例,其中引进品种18个^[50]。美国国际苜蓿遗传公司等单位合作将*Epsps*基因转入苜蓿,育成抗Roundup除草剂的苜蓿新品种,已在2004年开始推广应用^[51]。通过改造紫花苜蓿的基因来改变其木质素组成或者降低木质素,进而提高牧草的消化率的育种研究已经开展多年^[52-53],并被看好作为饲喂和能源两用型作物^[54],近期相关品种已经通过安全性测试,准备投向市场。

此外,Price等^[55]完成了高草草原、威斯康星州和美国东北大须芒草(*Andropogon gerardii*)的遗传多样性评价,丰富了育种需要的特有基因。Goldman^[56]

利用流式细胞仪对德克萨斯早熟禾(*Poa arachnifera*)的DNA含量范围进行了测定,为牧草育种和定量亲本的基因水平提供了依据。Saha等^[57]研究了高羊茅(*Festuca arundinacea*)SSR标记的发展,并证明了多种牧草SSRs的高度多态性以及它们在遗传连锁图谱研究中的作用。Xie等^[58]评价了北美52份鸭茅(*Dactylis glomerata*)的遗传多样性,认为鸭茅品种内部会出现大量的遗传变异,但品种之间的遗传分化不多;Robins等^[59]则从牧草产量、品质种子特性等方面对9种鸭茅种质的遗传变异进行了评价,认为存在的这些遗传变异可以满足相关育种项目的需求。在生物质能源方面,多年生黑麦草和柳枝稷(*Panicum virgatum*)的杂交育种也进展迅速^[60]。总之,美国的牧草生物技术育种从研究的深度、广度及细致程度等方面要强于我国育种的现状,这些方面也将是我们未来继续努力的方向。

3 中美牧草育种体系的差异

3.1 关于研究主体

科研院所与大专院校是我国牧草新品种选育主要阵地,较为单一(表2),主要包括中国农业科学院草原研究所和北京畜牧兽医研究所,内蒙古农业大学,甘肃农业大学等。美国牧草育种除科研单位以外,企业和基金会均在参与牧草育种工作。美国两家主要的牧草育种公司是国际牧草遗传公司(Forage Genetics International)和杜邦先锋(Dupont Pioneer)。此外,创立于1945年,非营利的诺贝基金会致力牧草研究,其牧草育种技术在国际处于领先地位,为优良牧草品种的开发和大规模推广做出了重大贡献^[61]。随着经济的发展,众多与草业相关的企业已经在中国不断发展壮大,它们将对牧草育种研究主体的有效补充。

3.2 关于新品种知识产权保护

新品种保护是育种体系中的一个重要环节,它不仅保护了生产者和消费者的利益,也维护了育种家的劳动成果和积极性。我国存在一些涉及植物新品种保护的法规、规章,但不够全面具体,且缺少专门法律。《中华人民共和国植物新品种保护条例》属于行政法规,对新品种的保护强度明显不足。主要问题是保护范围小,期限短,数量少,品种权审查体系不完善。截至2013年4月底,申请牧草新品种保护不足39个品种^[62]。

表2 中美牧草品种培育对比分析
Table 2 Comparison analysis of forage varieties breeding in China and USA

项目 Item	美国 USA	中国 China	参考文献 Reference
品种数量 Cultivar number	>5 000	<500	[14-15]
品种更新周期 Cultivar update cycle	1 年 1 year	>10 年 >10 years	[14,49]
转基因品种商品化 Commercialization of genetically modified cultivar	抗 Roundup 除草剂苜蓿 Roundup herbicide resistant alfalfa	暂无 None	[51]
研究主体 Research subject	科研院所、大学、企业和基金会 Scientific research institutes, university, enterprise and foundation	科研院所和大学 Scientific research institutes and university	[61,67-69]

美国早在 1930 年就创立了《植物专利法》,1983 年加入“国际植物新品种保护联盟”(UPOV),使育种者权益在其它国家也得到保护。美国植物新品种保护主要是通过《植物专利法》保护无性繁殖的新品种和通过《植物新品种保护法》保护有性繁殖和其它植物的新品种^[63]。实行植物专利、实用专利与品种权三种方式相结合的立法模式,保护方式灵活、保护对象全面^[64]。在完备的植物新品种保护制度的保障下,申请人自由选择申请实用专利、植物专利和品种权保护^[65]。在新品种保护审查中,美国通过书面材料进行实质审查。一般不进行田间考察,不对特异性、一致性和稳定性测试。审查员通过建立的性状审查数据库,检索并收集有关品种描述的相关信息,与数据库数据比较确定特异性^[66],这种模式加快了品种审查的工作效率,值得我国在牧草品种选育和保护工作中借鉴。

3.3 关于产、学、研、推

牧草育种工作不仅应该包括产、学、研,同样应当包括推广应用。美国的农业技术推广体系是由联邦农技推广局、各州农业技术推广站、县推广办公室和农学院四个层次组成立体结构体系。其中,农业院校中农业教育、农业科研、农业推广各自对应的主要执行机构是农学院、附属农业试验站及附属农业推广站。这些单位的交叉互作是美国农业取得巨大成就的重要原因。此外,美国的农业技术推广人员素质较高,他们主动将专业语言变成农牧民易于接受的通俗语言,不仅得到农牧民的认可,也利于工作开展。因此,美国的政府部门、科研机构、推广机构、合作社等产学研推的相关主体密切合作,形成高效的产业技术体系,牧草技术

研发和推广工作卓有成效^[61,67-69]。

我国牧区技术推广力量薄弱,主要以政府为主导,模式多为自上而下的动员和传播,少数技术人员服务众多农牧民,缺乏由下而上的问题解决模式,考虑基层实际需求的反馈模式并未形成^[70],结果导致相关技术及新品种进不了基层和农户,基层的实际需求也得不到传达和解决。我国关于牧草新品种相关的推广工作很少,这也是牧草产业落后于其它产业的因素之一。因此,应当借鉴美国此方面的优势,加强交流合作,使我国牧草育种甚至整个草产业的相关技术能够有力地推动下去,促进草业整个链条的完善与发展。

4 结语

美国在牧草种质资源的收集、保存及利用上做了大量工作,成效显著;中美两国在新品种选育方法方面,常规育种方法仍然占据主要位置,但结合新技术是未来提速牧草育种的主要趋势;美国牧草育种研究推广主体和品种保护体系相对完善,品种数量显著多于中国,更新速度快,市场竞争优势明显。中国牧草种质资源丰富,现代科学技术为牧草育种提供了新的途径,潜力巨大。我国牧草育种工作应当加速完善自身不足,坚持改革开放的步伐,积极吸取牧草育种先进国家的经验,最终促进牧草育种工作的稳步推进,为农牧业生产提供坚强后盾。建议对我国牧草种质资源加强保护。例如,建立牧草种质资源保护区,成立牧草种质资源管理局等单位,切实加强国内牧草种质资源的保护和应用;加强牧草种质资源不同功能的开发利用,例如药用、园林等。避免只追求牧草产量,充分利用牧草遗传多样性服务于民;完善我国牧草育种的体系,促进产

学研推共同发展;加强学界国际间的交流,紧跟国际牧草育种研发动态。

参考文献 References:

- [1] 戎郁萍,曹喆,赵秀芳,赵来喜.美国植物种质资源的收集、保存、利用与评价.草业科学,2007,24(12):22-25.
Rong Y P,Cao Z,Zhao X F,Zhao L X. Collection, conservation, utilization and evaluation of plant germplasm resource in USA. Pratacultural Science, 2007, 24(12): 22-25. (in Chinese)
- [2] 张新全,马啸,郭志慧,程亚娟,黄秀,谢欢,关皓.国外禾本科草育种研究进展.草业与畜牧,2015(1):1-7.
Zhang X Q, Ma X, Guo Z H, Cheng Y J, Huang X, Xie H, Guan H. Research advances in breeding of gramineous forage in a broad. Prataculture & Animal Husbandry, 2015(1): 1-7. (in Chinese)
- [3] Smýkal P, Coyne C J, Ambrose M J, Maxted N, Schaefer H, Blair M W, Berger J, Greene S L, Nelson M N, Besharat N, Vymyslický T, Toker C, Saxena R K, Roorkiwal M, Pandey M K, Hu J G, Li Y H, Wang L X, Guo Y, Qiu L J, Redden R J, Varshney R K. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. Critical Reviews in Plant Sciences, 2015, 34: 1-3, 43-104.
- [4] 高鸿宾.中国草原发展报告(2011).北京:中国农业出版社,2013:53-54.
Gao H B. China Grassland Development Report(2011). Beijing: China Agriculture Press, 2013: 53-54. (in Chinese)
- [5] 蒋尤泉.中国作物及其野生近缘植物.北京:中国农业出版社,2007:44-45.
Jiang Y Q. China Crops and Their Wild Relatives. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 44-45. (in Chinese)
- [6] 陈志宏,李晓芳,负旭疆,刘丑生,王志刚,丁黎清.我国草种质资源的多样性及其保护.草业科学,2009,26(5):1-6.
Chen Z H, Li X F, Yun X J, Liu C S, Wang Z G, Ding L Q. Diversity and conservation of forage germplasm resources in China. Pratacultural Science, 2009, 26(5): 1-6. (in Chinese)
- [7] 赵来喜.优异牧草种质资源收集、评价利用的潜力及对策.中国草地学报,2009,31(4):13-19.
Zhao L X. The potentiality and countermeasures of collection, evaluation and utilization of excellent forage germplasm resources in China. Chinese Journal of Grassland, 2009, 31(4): 13-19. (in Chinese)
- [8] 李哲.紫花苜蓿多元杂交后代多样性分析与选择研究.兰州:甘肃农业大学硕士学位论文,2013.
Li Z. Studies on phenotypic diversity and strains selection of alfalfa multiple hybrid offspring. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [9] 魏臻武.利用 SSR、ISSR 和 RAPD 技术构建苜蓿基因组 DNA 指纹图谱.草业学报,2004,13(3):62-67.
Wei Z W. DNA fingerprint of *Medicago sativa* variety genomes using SSR, ISSR and RAPD. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(3): 62-67. (in Chinese)
- [10] 赵欣欣,张新全,苗佳敏,黄琳凯,季杨.多花黑麦草杂交种 SSR 分子标记鉴定及表型比较分析.农业生物技术学报,2013,21(7):811-819.
Zhao X X, Zhang X Q, Miao J M, Huang L K, Ji Y. Identification by SSR molecular markers and comparative analysis in morphological characterization in *Lolium multiflorum* hybrid progenies. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(7): 811-819. (in Chinese)
- [11] 董德珂,董瑞,刘志鹏,王彦荣.532份箭筈豌豆种质资源复叶表型多样性.草业科学,2015,32(6):935-941.
Dong D K, Dong R, Liu Z P, Wang Y R. Diversity of compound leaf phenotypic characteristics of 532 *Vicia sativa* germplasm. Pratacultural Science, 2015, 32(6): 935-941. (in Chinese)
- [12] 陈立强,师尚礼.42份紫花苜蓿种质资源遗传多样性的 SSR 分析.草业科学,2015,32(3):372-381.
Chen L Q, Shi S L. Genetic diversity of 42 alfalfa accessions revealed by SSR markers. Pratacultural Science, 2015, 32(3): 372-381. (in Chinese)
- [13] 程云辉,董巨飞,许能祥,张文洁.中国野生禾本科牧草资源的研究现状.江苏农业学报,2013,29(2):440-447.
Cheng Y H, Dong C F, Xu N X, Zhang W J. A review of researches on wild gramineous forage grass germplasm resources in China. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2013, 29(2): 440-447. (in Chinese)
- [14] 云锦凤.抓住机遇,更新理念,加快草品种育种进程.草原与草业,2015(1):1-2.
- [15] Bouton J. The economic benefits of forage improvement in the United States. Euphytica, 2007, 154: 263-270.
- [16] 刘亚钊,王明利,杨春,修长柏.中国牧草种子贸易格局研究及启示.草业科学,2012,29(7):1176-1181.

- Liu Y Z, Wang M L, Yang C, Xiu C B. International trade structure of forage seed of China and its enlightenment. *Pratacultural Science*, 2012(7):1176-1181. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国海关总署. 中国海关统计年鉴. 北京: 中华人民共和国《海关统计》, 1992-2010. General Administration of Customs of the People's Republic of China. Chinese Customs Statistics Year Book. Beijing: "The Customs Statistics" editorial department of the People's Republic of China, 1992-2010. (in Chinese)
- [18] Quesenberry K H, Blount A R, Dunavin L S, Mislevy, P. Registration of 'Southern Belle' red clover. *Crop Science*, 2005, 45: 2123-2124.
- [19] Quesenberry K H, Dampier J M, Crow B, Dickson D W. Response of native southeastern US legumes to root-knot nematodes. *Crop Science*, 2008, 48: 2274-2278.
- [20] Quesenberry K H, Munoz P, Blount A, Kenworthy K Crow W. Breeding forages in Florida for resistance to nematodes. *Crop & Pasture Science*, 2014, 65(11): 1192-1198.
- [21] Annicchiarico P, Barrett B, Brummer E C, Julier B, Marshall A H. Achievements and challenges in improving temperate perennial forage legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2015, 34: 327-380.
- [22] Bouton J H. An overview of the role of lucerne (*Medicago sativa* L.) in pastoral agriculture. *Crop & Pasture Science*, 2012, 63: 734-738.
- [23] 徐春波, 王勇, 赵来喜, 赵海霞, 米福贵. 我国牧草种质资源创新研究进展. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(5): 809-815. Xu C B, Wang Y, Zhao L X, Zhao H X, Mi F G. Research progress of forage germplasm resources innovation in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(5): 809-815. (in Chinese)
- [24] 李造哲, 于卓, 马青枝, 王俊杰. 披碱草和野大麦杂种 F_1 与 BC_1F_1 代的生物学及农艺特性研究. *中国草地*, 2004, 26(5): 9-14. Li Z Z, Yu Z, Ma Q Z, Wang J J. Studies on the biological and agronomic characters of *Elymus dahuricus*, *Hordeum brevisubulatum* and their hybrid F_1 and BC_1F_1 . *Grassland of China*, 2004, 26(5): 9-14. (in Chinese)
- [25] 侯建华, 云锦凤. 羊草、灰色赖草及其杂种 F_1 生物学特性. *草地学报*, 2005, 13(3): 175-179. Hou J H, Yun J F. Biological characters of *Leymus chinensis* and *Leymus cinereus* and their hybrid. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(3): 175-179. (in Chinese)
- [26] 王树彦, 云锦凤, 徐军, 杨洪琴. 加拿大披碱草与老芒麦及其杂种的生长规律和形态特性. *草地学报*, 2004, 12(4): 294-297. Wang S Y, Yun J F, Xu J, Yang H Q. Growth and morphology characters of *Elymus canadensis*, *Elymus sibiricus* and their hybrid. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(4): 294-297. (in Chinese)
- [27] 王殿魁, 李红, 罗新义. 扁蓿豆与紫花苜蓿杂交育种研究. *草地学报*, 2008, 16(5): 458-465. Wang D K, Li H, Luo X Y. Crossbreeding of *Melilotoides ruthenicus* and *Medicago sativa*. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(5): 458-465. (in Chinese)
- [28] Reich J. Alfalfa's role in feeding a hungry world. Sacramento, CA; Proceedings California Alfalfa & Grains Symposium, 2012.
- [29] Lauer J G, Bijl C G, Grusak M A, Baenziger P S, Boote K, Lingle S, Carter T, Kaeppler Shawn, Boerma R, Eizenga G, Carter P, Goodman M, Nafziger E, Kidwell K, Mitchell R, Edgerton M D, Quesenberry K, Willcox M C. The scientific grand challenges of the 21st century for the crop science society of America. *Crop Science*, 2012, 52: 1003-1010.
- [30] Tysdal H M, Kiesselbach T A. Hybrid alfalfa. *Journal of the America Society Agronomy*, 1944, 36(8): 649-667.
- [31] Bhandari H S, Pierce C A, Murray L W, Ray I M. Combining ability and heterosis for forage yield among high-yielding accessions of the alfalfa core collection. *Crop Science*, 2007, 47: 665-673.
- [32] Riday H, Brummer E C. Forage yield heterosis in alfalfa. *Crop Science*, 2002, 42: 716-723.
- [33] Riday H, Brummer E C, Moore K J. Heterosis of forage quality in alfalfa. *Crop Science*, 2002, 42: 1088-1093.
- [34] Hopkins A A, Bhamidimarri S. Breeding summer-dormant grasses for the United States. *Crop Science*, 2009, 49: 2359-2362.
- [35] Al Lawati A H, Pierce C A, Murray L W, Ray I M. Combining ability and heterosis for forage yield among elite alfalfa core collection accessions with different fall dormancy responses. *Crop Science*, 2010, 50: 150-158.
- [36] Zeraia D B, Glenna E P, Chattervedia R, Lu Z J, Mamooda A N, Nelsona S G, Rayb D T. Potential for the improvement of *Salicornia bigelovii* through selective breeding. *Ecological Engineering*, 2010, 36: 730-739.
- [37] 刘纪元. 中国航天诱变育种. 北京: 中国宇航出版社, 2007. Liu J Y. China Space Mutation Breeding. Beijing: China Aerospace Press, 2007. (in Chinese)
- [38] 刘录祥. 空间技术育种现状与展望. *国际太空*, 2001(7): 8-11.

- [39] 扈新民,李亚利,高彦辉. 航天诱变及其在辣椒育种中的应用及展望. 中国蔬菜,2010(24):14-18.
Hu X M,Li Y L,Gao Y H. Review and prospect of space mutation application in pepper breeding. China Vegetables,2010(24):14-18. (in Chinese)
- [40] 杨红善,王彦荣,常根柱,周学辉,包文生. 牧草的航天诱变研究. 中国草地学报,2015,37(1):104-110.
Yang H S,Wang Y R,Chang G Z,Zhou X H,Bao W S. A study on the space mutation of forages. Chinese Journal of Grassland,2015,37(1):104-110. (in Chinese)
- [41] 杨红善,常根柱,包文生. 紫花苜蓿的航天诱变. 草业科学,2013,30(2):253-258.
Yang H S,Chang G Z,Bao W S. Preliminary study on the space mutation breeding of alfalfa. Pratacultural Science,2013,30(2):253-258. (in Chinese)
- [42] 井赵斌,俞靓,魏琳,程积民. 国外牧草基因组学和转基因技术研究进展. 生物技术通报,2011(11):12-25.
Jing Z B,Yu J,Wei L,Cheng J M. Research advances in genomics and transgenic of forage in abroad. Biotechnology Bulletin,2011(11):12-25. (in Chinese)
- [43] 刘鹏,王彦荣,刘志鹏. 野豌豆属43份牧草种质的染色体形态观察与分析. 草业科学,2015,32(6):908-926.
Liu P,Wang Y R,Liu Z P. Karyotypes analysis of 43 *Vicia* accessions. Pratacultural Science,2015,32(6):908-926. (in Chinese)
- [44] 燕丽萍,夏阳,毛秀红,刘翠兰,梁慧敏. 转 *BADH* 基因紫花苜蓿山苜2号品种的抗盐性鉴定及系统选育. 植物学报,2011,46(3):293-301.
Yan L P,Xia Y,Mao X H,Liu C L,Liang H M. Breeding and salt resistance evaluation of *BADH* transgenic alfalfa cultivar Shanmu 2. Chinese Bulletin of Botany,2011,46(3):293-301. (in Chinese)
- [45] Lamb J F S,Jung H J G,Riday H E. Harvest impacts on alfalfa stem neutral detergent fiber concentration and digestibility and cell wall concentration and composition. Crop Science,2012,52:2402-2412.
- [46] Russelle M P. Environmental benefits of growing perennial legumes in cropping systems. Legume Perspect,2014,4:11-12.
- [47] Cash D,Yuegao H. Alfalfa Management Guide for Ningxia. Beijing:Food and Agriculture Organization of the United Nations,2009:110.
- [48] 高雅,林慧龙. 草业经济在国民经济中的地位、现状及其发展建议. 草业学报,2015,24(1):141-157.
Gao Y,Lin H L. The developmental status and potential of grass-based agriculture in the national economy. Acta Prataculturae Sinica,2015,24(1):141-157. (in Chinese)
- [49] 杨青川,孙彦. 中国苜蓿育种的历史、现状与发展趋势. 中国草地学报,2011,33(6):95-101.
Yang Q C,Sun Y. Current situation and development of alfalfa breeding in China. Chinese Journal of Grassland,2011,33(6):95-101. (in Chinese)
- [50] 王雪,李志萍,孙建军,冯长松,李绍钰. 中国苜蓿品种的选育与研究. 草业科学,2013,31(3):512-518.
Wang X,Li Z P,Sun J J,Feng C S,Li S Y. Progress of alfalfa breeding in China. Pratacultural Science,2013,31(3):512-518. (in Chinese)
- [51] 周兴龙,杨青川,王凭青,吴明生,谢伟伟. 苜蓿转基因研究进展. 重庆大学学报,2005,28(4):126-129.
Zhou X L,Yang Q C,Wang P Q,Wu M S,Xie W W. Research progress of transgenic alfalfa. Journal of Chongqing University,2005,28(4):126-129. (in Chinese)
- [52] Guo D,Chen F,Wheeler J,Winder J,Selman S,Peterson M,Dixon R A. Improvement of in-rumen digestibility of alfalfa forage by genetic manipulation of lignin O-methyltransferases. Transgenic Research,2001,10:457-464.
- [53] Li X H,Wei Y L,Moore K J,Michaud R,Viands D R,Hansen J L,Acharya A,Brummer E C. Association mapping of biomass yield and stem composition in a tetraploid alfalfa breeding population. The Plant Genome,2011,4(1):24-35.
- [54] Dien B S,Miller D J,Hector R E,Dixon R A,Chen F,McCaslin M,Reisen P,Sarath G,Cotta M A. Enhancing alfalfa conversion efficiencies for sugar recovery and ethanol production by altering lignin composition. Bioresource Technology,2011,102:6479-6486.
- [55] Price D L,Salon P R,Casler M D. Big bluestem gene pools in the central and northeastern United States. Crop Science,2012,52:189-200.
- [56] Goldman J J. DNA contents in Texas bluegrass (*Poa arachnifera*) selected in Texas and Oklahoma determined by flow cytometry. Genetic Resources and Crop Evolution,2015,62:643-647.

- [57] Saha M C, Cooper J D, Mian M R, Chekhovskiy K, May G D. Tall fescue genomic SSR markers: Development and transferability across multiple grass species. *Theoretical and Applied Genetics*, 2006, 113: 1449-1458.
- [58] Xie W G, Bushman B S, Ma Y M, West M S, Robins J G, Michaels L, Jensen K B, Zhang X Q, Casler M D, Stratton S D. Genetic diversity and variation in North American orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) cultivars and breeding lines. *Grassland Science*, 2014, 60, 185-193.
- [59] Robins J G, Bushman B S, Jensen K B, Escibano S, Blaser G. Genetic variation for dry matter yield, forage quality, and seed traits among the half-sib progeny of nine orchardgrass germplasm populations. *Crop Science*, 2015, 55: 275-283.
- [60] Aguirre A A, Studer B, Frei U, Lubberstedt T. Prospects for hybrid breeding in bioenergy grasses. *BioEnergy Research*, 2012, 5(1): 10-19.
- [61] 杨振海, 李明, 张英俊, 曾珉, 刘翔洲. 美国草原保护与草原畜牧业发展的经验研究. *世界农业*, 2015(1): 36-40.
Yang Z H, Li M, Zhang Y J, Zeng M, Liu X Z. Empirical study USA grassland protection and development of grassland animal husbandry. *World Agriculture*, 2015(1): 36-40. (in Chinese)
- [62] 温涛. 植物新品种知识产权保护研究. 扬州: 扬州大学硕士学位论文, 2013: 10-22.
Wen T. Research on intellectual property protection of new varieties of plants. Master Thesis. Yangzhou: Yangzhou University, 2013: 10-22. (in Chinese)
- [63] 张肖娟, 孙振元. 植物新品种保护与 DUS 测试的发展现状. *林业科学研究*, 2011, 24(2): 247-252.
Zhang X J, Sun Z Y. Development status of new plant variety protection and DUS testing. *Forest Research*, 2011, 24(2): 247-252. (in Chinese)
- [64] 吴汉东. 知识产权国际保护制度研究. 北京: 知识产权出版社, 2007: 494.
Wu H D. Research on the International Protection of IPR System. Beijing: Intellectual Property Press, 2007: 494. (in Chinese)
- [65] 吴立增, 黄秀娟, 刘伟平. 基因资源知识产权理论. 北京: 科学出版社, 2009: 34-35.
Wu L Z, Huang X J, Liu W P. Theory of Intellectual Property of Gene Resources. Beijing: Science Press, 2009: 34-35. (in Chinese)
- [66] 崔野韩, 陈如明, 李昌健. 美国植物新品种保护审查制度. *世界农业*, 2001(9): 36-38.
Cui Y H, Chen R M, Li C J. The protection of new varieties of plants USA censorship. *World Agriculture*, 2001(9): 36-38. (in Chinese)
- [67] 赵文, 李孟娇, 王芳. 探析国外主要农业推广模式及其对中国的启示. *世界农业*, 2014(9): 134-137.
Zhao W, Li M J, Wang F. Analysis on major foreign agricultural extension mode and suggestions to China. *World Agriculture*, 2014(9): 134-137. (in Chinese)
- [68] 杨倩. 美国农业院校“教育、科研、推广体系”研究. 长春: 东北师范大学硕士学位论文, 2014: 38.
Yang Q. Study on the “education, research, extension system” of American agricultural universities and colleges. Master Thesis. Changchun: Northeast Normal University, 2014: 38. (in Chinese)
- [69] 安杰, 孙境鸿, 刘顺. 美国农业推广发展及启示. *商业经济*, 2010(14): 21-23.
An J, Sun J H, Liu S. The development and enlightenment of agricultural extension in USA. *Commercial Economy*, 2010(14): 21-23. (in Chinese)
- [70] 高启杰. 农业推广模式的类型及其发展方向. *世界农业*, 1996(11): 52-53.
Gao Q J. Types and development trend of agricultural extension pattern. *World Agriculture*, 1996(11): 52-53. (in Chinese)

(责任编辑 张瑾)