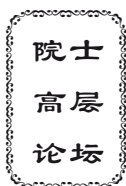


DOI:10.11686/cyxb20220601

<http://cyxb.magtech.com.cn>

南志标, 王彦荣, 贺金生, 等. 我国草种业的成就、挑战与展望. 草业学报, 2022, 31(6): 1—10.

NAN Zhi-biao, WANG Yan-rong, HE Jin-sheng, *et al.* Achievements, challenges and prospects of herbage seeds industry in China. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(6): 1—10.



我国草种业的成就、挑战与展望

南志标, 王彦荣, 贺金生, 胡小文, 刘志鹏, 李春杰, 聂斌, 夏超

(草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:本研究从种质资源收集、品种选育、种子生产和质量管理等方面总结了我国草种业发展取得的成就, 分析了面临的挑战, 提出了建设草种强国的建议。我国已初步建立了完整的草种业体系, 已成为世界草种质资源保存大国, 自1987年实施品种审定制度以来, 已审定通过了651个草类植物新品种, 在利用乡土植物优异基因和内生真菌创制新种质等方面, 取得了突出成果。所育成品种基本可满足一般生产需求。种子田常年保有面积10万hm²左右, 年产种子约10万t。已在全国建立了5个部级检验中心, 并在品种审定、特异性、一致性和稳定性(DUS)测试, 种子立法等方面建成了较为完整的质量管理体系。面临的挑战是种质资源收集不及我国现有饲草种质资源数的50%, 对已有种质资源评价、鉴定工作不足, 缺少用于生态修复的草种和草坪草品种。根据国家生态修复规划, 每年需草种7万t, 目前缺口巨大, 每年进口草种5万t左右, 主要是高质量商品草和草坪草用种。质量管理体系中缺少种子认证。建议进一步加强种质资源收集、评价与利用; 加强乡土草、草坪草及放牧型牧草选育; 建立大规模草种生产基地及成果转化渠道; 完善种子质量管理体系及提高对草的认识, 从科技创新、人才培养、发展政策等方面予以支持。

关键词:草种业; 种质资源; 品种选育; 种子生产; 质量管理

草类植物种子是保障国家生态安全与食物安全的重要物质基础。传统的草种业是指草类植物种子生产、加工与销售等生产活动。现代的草种业则具有更丰富的内容, 涵盖了全产业链。其从传统的草种业向前延伸, 包括种质资源的收集、鉴定、保存、评价与利用, 新种质的创制和新品种选育等。其向后拓展到种子质量管理等。本研究将按照现代草种业的内容, 阐述我国草种业的现状和挑战, 并提出高质量发展的建议。

一 初步建立了较为完整的草种业体系

经过多年的努力, 我国在种质资源收集、鉴定、保存、评价和利用、新品种选育、种子生产及质量管理体系等方面, 均取得了长足的进展。初步建立了较为完整的草种业体系。

(一) 种质资源的收集、保存与评价

种质资源的收集、鉴定与保存, 是生物多样性保育的重要内容, 是国家科技和农业发达程度的重要标志之一。种质资源是优异基因的载体, 从某种意义上讲, 掌握了优异的种质资源, 就将占领种业的制高点, 具备引领发展的话语权。因此, 发达国家和国际研究机构, 均将草类植物种质资源收集作为重要的日常工作。如新西兰草地农业研究所每年均派出科技工作者, 赴其他国家采集种质资源。

1 种质资源收集 我国大规模的草类植物种质资源收集等工作, 始于改革开放, 其中, 具有里程碑意义的重要工作, 包括以下几项内容。

1988年启动的第一次全国草原资源普查, 2004年启动的国家科技基础专项“牧草植物种质资源整理整合及共享试点”项目, 2007年启动的948项目“俄罗斯牧草种质资源的引进、评价、鉴定及保存利用”, 2017年启动的科技基础性工作专项“我国南方草地牧草资源调查”, 2018年农业农村部启动的各省草地资源清查等。上述工作,

收稿日期: 2022-03-29; 改回日期: 2022-04-06

作者简介: 南志标(1951-), 男, 河北曲阳人, 中国工程院院士, 教授, 博士。E-mail: zhibiao@lzu.edu.cn

对于掌握和收集全国草类植物种质资源,发挥了重要的作用。与此相适应,我国1989年在中国农业科学院草原研究所建立了国家牧草种质资源中期库,1992年在全国畜牧总站建立了全国牧草种质库,为保存牧草种质资源提供了基本条件。

目前,我国已经成为全世界草类植物种质资源的保存大国,保存的数量超过美国,仅次于新西兰(表1)。

2 种质资源研究 主要集中在种质资源的分布、形态、饲用价值等,主要著作包括中国农业大学贾慎修等主编的《中国饲用植物》^[1];中国农业科学院董玉琛等主编的《中国作物及其野生资源近缘植物》系列著作中,由蒋尤泉主编的《饲用与绿肥作物卷》^[2];中国热带农业科学院刘国道等主编的《中国南方牧草志》^[3]等。有关省(自治区)也陆续出版了本省(自治区)的饲用植物志或饲用植物名录,如赖志强^[4]、应朝阳等^[5]的著作,在重要乡土草种质资源抗逆机理与栽培驯化、遗传多样性、组学分析与进化等方面,取得了重要的进展^[6-7]。

(二) 草类植物育种

国际草类植物的育种目标,最初是牧草的高产。20世纪60年代,开始注重牧草的营养品质。随后,开展了大量抗逆品种的选育,包括抗病、抗虫和抵抗不利的生长环境等。抗逆育种为提高牧草产量做出了重要的贡献。进入21世纪以来,转基因育种和分子辅助设计育种,有了重要的进展。美国学者已先后育成了抗除草剂草甘膦^[8]和低木质素含量^[9]的转基因紫花苜蓿(*Medicago sativa*)品种,并投入生产。另外,利用禾草内生真菌培育抗逆、耐践踏的草坪草新品种及利用优异内生真菌菌株创制优质、高产的牧草新品种,是国际草类植物育种的重要内容^[10]。但在育种方法上,仍然是常规育种技术为主,95%以上的品种均是通过常规选育、杂交等方法获得。

1 常规育种 我国的草类植物育种起步于20世纪50年代初,可能比发达国家晚半个世纪左右。1987和2019年农业农村部和国家林业和草原局分别成立了全国草品种审定委员会。2008和2019年,上述2个部门分别成立了全国草品种区试网,极大地推动了我国草类植物育种工作的标准化和规范化。

长期以来,我国的牧草育种目标主要是高产,对品种抗逆性关注不多。截至2021年,我国已审定通过新品种651个。其中,育成品种占37.79%,野生栽培品种占23.35%(表2)。在国家审定通过的品种中,仅有3个抗病的紫花苜蓿品种,分别是抗霜霉病(*Peronospora aestivalis*)的“中兰1号”^[11]及抗薹马和蚜虫的“甘农5号”和“甘农9号”^[12]。近年来开始注重抗逆特性和营养成分含量。

2 转基因育种 我国学者从乡土植物中克隆优异基因,创制抗逆优质新种质。如新疆农业大学张博从骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)和苦马豆(*Sphaerophysa salsula*)中克隆了3个耐盐基因,并成功在烟草(*Nicotiana tabacum*)和拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)中进行了基因功能的验证(张博,未发表资料)。通过转基因育种,获得了22个优质、高产的转基因牧草新品系,其中紫花苜蓿11个,柳枝稷(*Panicum virgatum*)5个,百脉根(*Lotus corniculatus*)5个和柱花草(*Stylosanthes guianensis*)1个(表3)。过表达超早生无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*) CsLEA2和 CsALDH12A1基因的转基因紫花苜蓿,生物量分别提高了104%和85%^[13-14]。过表达紫花苜蓿自身 MsNTF2基因,通过降低气孔密度,提高了转基因苜蓿的抗旱能力^[15]。

表1 部分国家及研究机构草类植物种质资源保存数量

序号	国家/研究机构	种质数(万份)
1	新西兰	约14.00
2	美国	4.62
3	热带农业国际中心(CIAT)	2.31
4	中国农业科学院草原研究所	1.83
5	全国畜牧总站	5.58
6	热带牧草种质库	1.53

来源:1. 查自新西兰 AgResearch 网站;2. 青岛农业大学王增裕教授提供;3,6. 中国热带农业科学院刘国道研究员提供;4. 中国农业科学院草原研究所赵来喜研究员提供;5. 全国畜牧总站洪军处长提供。

表2 1987-2021年国家审定通过的草类植物品种

类别	数量(个)	占比(%)
育成品种	246	37.79
野生栽培品种	152	23.35
引进品种	189	29.03
地方品种	64	9.83
合计	651	100.00

来源:汇自农业农村部和国家林业和草原局牧草新品种公告1987-2021年。

表 3 我国获批田间中试许可的优质—高抗转基因牧草新品系

转基因植物	基因名称	基因来源	获得性状	主要育种人	获批年份	参考文献
紫花苜蓿	<i>ZxNHX1</i> 和 <i>ZxVP1-1</i>	霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)	抗盐、抗旱	王锁民,包爱科	2011	[16]
	<i>PeDREB2a</i> 和 <i>KcERF</i> (<i>WLDE-1</i>)	胡杨(<i>Populus euphratica</i>)/秋茄(<i>Kandelia candel</i>)	抗旱	吴燕民	2016	[17]
	<i>PeDREB</i> 和 <i>HhERF</i> (<i>GNW1-1</i>)	胡杨/铃铛刺(<i>Halimodendron halodendron</i>)	抗旱	吴燕民	2018	吴燕民, 未发表资料
	<i>AtQQS</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thaliana</i>)	抗旱、高品质	张万军	2018	[18]
	<i>Solyc08g016270</i>	栽培西红柿(<i>Solanum locopersicum</i>)	抗病	刘志鹏,王彦荣	2020	刘志鹏, 未发表资料
	<i>MsNTF2</i>	紫花苜蓿	抗旱	刘志鹏,王彦荣	2020	[15]
	<i>CsALDH12A1</i>	无芒隐子草	抗旱、抗盐	张吉宇,王彦荣	2020	[13]
	<i>CsLEA2</i>	无芒隐子草	抗旱、抗盐	张吉宇,王彦荣	2020	[14]
	<i>ZxNHX1</i> 和 <i>ZxVP1-1</i>	霸王	抗盐、抗旱、抗除草剂	王锁民,包爱科	2021	王锁民和包爱科, 未发表资料
	<i>ZxNHX1</i> 和 <i>PcCLCg</i>	霸王/沙芥(<i>Pugionium cornutum</i>)	抗盐、抗旱	王锁民	2021	[19]
柳枝稷	<i>MsSPL</i>	紫花苜蓿	高生物量、抗旱、抗盐	张万军	2021	[20]
	<i>P5CS1</i>	柳枝稷	抗盐	张蕴薇	2019	[21]
	<i>P5CS2</i>	柳枝稷	抗盐	张蕴薇	2019	[21]
	<i>Na/H</i>	碱茅(<i>Puccinellia distans</i>)	抗盐	张蕴薇	2019	张蕴薇, 未发表资料
	褪黑素调控基因 1	绵羊(<i>Ovis aries</i>)	抗盐	张蕴薇	2019	张蕴薇, 未发表资料
百脉根	褪黑素调控基因 2	绵羊	抗盐	张蕴薇	2019	张蕴薇, 未发表资料
	<i>AIVHA</i>	禽流感病毒	表达抗原蛋白	吴燕民	2010	[22]
	<i>PeDREB2a</i>	胡杨	抗旱	吴燕民	2010	[23]
	<i>PeDREB</i> 和 <i>HhERF</i>	胡杨/铃铛刺	抗旱	吴燕民	2010	吴燕民, 未发表资料
	<i>PeDREB2a</i> 和 <i>KcERF</i>	胡杨	抗旱	吴燕民	2016	[24]
柱花草	<i>MsGCHI</i> 和 <i>MsADCS</i>	紫花苜蓿	高叶酸含量	包爱科	2021	[25]
	<i>MjSAMS1</i>	黄花苜蓿(<i>M. falcata</i>)	抗寒	郭振飞	2016	[26]

3 利用禾草内生真菌创制新品系 我国科技工作者通过人工接种优异内生真菌菌株,创制了含有内生真菌的青稞(*Hordeum vulgare*)新品系,干草和种子产量比未接种内生真菌的对照品种分别提高了 45% 和 36%,表现出了巨大的生产潜力^[27]。同时,利用内生真菌抗虫、抗旱、耐践踏的特性,成功选育高带菌率的坪用多年生黑麦草(*Lolium perenne*)新品系,带菌率从原始种群的 62.5% 上升到 98.9%^[28]。新品系在抗病、抗虫及抗非生物逆境等方面均显著提高,已进入全国区试(表 4)。

(三) 种子生产

大量优质的种子是发展草业的物质基础。无论新品种如何优异,如不能生产大量种子,其作用将十分有限。因此,开展种子生产技术研究,促进草种子产业发展,是草类植物新品种和乡土草种推广利用的先决条件。

发达国家的草类植物种子生产,具有区域化、集约化、规模化和专业化的特点。如美国俄勒冈州是全球禾本科牧草与草坪草种子生产和出口的核心区域,产量占美国全国同类产品的 70% 以上,除满足州内需求外,98% 的种子用于国内其他区域和出口^[29]。新西兰坎特伯雷平原则是全世界主要的白三叶草(*Trifolium repens*)种子生产

表 4 新品系“兰黑 1 号”坪用多年生黑麦草的抗性表现

指标	兰黑 1 号	对照
发病率(%)	41.3*	64.3
病斑数(个)	29.0*	52.0
病情指数	53.1*	80.4
虫害发生率(%)	12.9*	34.7
分蘖数(株)	8.8*	6.4

来源:[28]。病:根腐离蠕孢;虫:禾谷缢管蚜;旱:15% 最大田间持水量。*:差异显著, $P<0.05$ 。

基地,产量占世界总产量的50%以上^[30]。在科学研究方面,种子生产作为农业研究的重要组成部分,与其他大田作物同等重要。1978年,成立了国际草种子生产研究组织(International Herbage Seed Production Research Group, 简称IHSPRG),后更名为国际草种子组织(International Herbage Seed Group, 简称IHSG),是全球草种科技工作者和生产者的最大学术组织,定期召开学术研讨会,交流与种子相关的研究与应用进展,先后出版了《Forage Seed Production, Volume 1: Temperate Species》(《牧草种子生产 第一卷 温带草种》)^[31]、《Forage Seed Production, Volume 2: Tropical and Subtropical Species》(《牧草种子生产 第二卷 热带和亚热带草种》)^[32]等著作。

1 种子生产 我国自20世纪70年代开始,进行大规模的草种生产,在西北、华北、东北等地区均设有专业草种繁殖场。如位于甘肃省河西走廊的山丹军马场,每年生产垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、老芒麦(*E. sibiricus*)等乡土草种子50余t,用于青藏高原草地改良和栽培草地的建植^[33]。最近几十年,多数草种子生产企业已转营他业。2000年,农业农村部启动牧草种子基地建设项目,在全国建立了一批种子生产基地。目前我国草种田面积为10万hm²左右,年产种子约10万t(表5),生产的主要草种包括紫花苜蓿、老芒麦、披碱草、燕麦(*Avena sativa*)、小黑麦(\times *Triticosecale* Wittmack)和箭筈豌豆(*Vicia sativa*)等^[34]。

表5 全国主要牧草种子产量(万t)

品种	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
紫花苜蓿	3.11	1.89	1.20	1.28	1.43	1.62	1.57	1.30	1.77	1.44
老芒麦	0.05	0.08	0.12	0.24	0.31	0.25	0.36	0.31	0.32	0.04
披碱草	0.39	1.00	0.68	0.81	0.76	0.85	0.98	0.82	0.58	0.46
燕麦	1.59	1.76	1.70	2.04	2.52	2.57	2.59	2.46	4.31	5.19
小黑麦	0.63	1.35	1.25	1.18	1.13	0.91	0.90	0.63	0.50	0.70
箭筈豌豆	0.42	0.20	0.22	0.08	0.06	0.38	0.39	0.39	0.33	0.16
全国	11.77	8.88	8.40	8.15	8.23	9.00	7.76	8.37	10.01	9.83

来源:根据中国草业统计(2010—2019年)整理。

过去10年,草种子年进口量呈增加趋势(表6),由2012年的3.76万t增加到2021年的7.16万t;近5年年均进口量为5.95万t,其中,紫花苜蓿种子为2960t。其余均为草坪草种子,主要包括黑麦草(*Lolium* spp.)、羊茅(*Festuca* spp.)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)和三叶草(*Trifolium* spp.)等。

表6 全国主要牧草种子进口量(万t)

项目	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
紫花苜蓿	0.16	0.19	0.25	0.23	0.13	0.10	0.25	0.26	0.35	0.52
黑麦草	1.30	1.65	2.14	2.42	2.04	3.13	2.99	3.11	3.99	3.40
羊茅	1.45	0.97	1.40	1.09	0.92	1.50	1.41	0.97	1.20	2.09
草地早熟禾	0.64	0.48	0.48	0.50	0.20	0.60	0.68	0.57	0.31	0.79
三叶草	0.21	0.20	0.24	0.27	0.25	0.30	0.29	0.22	0.26	0.36
草坪草小计	3.60	3.30	4.26	4.28	3.41	5.53	5.37	4.87	5.76	6.64
进口总量	3.76	3.48	4.51	4.55	3.31	5.70	5.63	5.13	6.11	7.16

来源:根据王明利2012—2021年国家牧草产业体系年终报告整理。

总结以上,似可认为我国的草种子生产基本能够满足建立一般栽培草地的用种需要。但高质量商品草地的用种和草坪草种子主要依赖进口,进口量约占每年需求量的1/3。另外,用于生态治理的乡土草种子田几近空缺。

2 科学研究 对我国主要的牧草,如紫花苜蓿、披碱草、老芒麦、高羊茅等种子生产技术、产量类型和组分,种子生产气候条件要求、生产地域性理论及牧草生殖生长理论等方面,进行了较为全面、系统地研究^[35]。对主要乡土草种例如无芒隐子草、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)等的繁殖生物学特性和种子生产技术等也开展了持续系统的研究^[36-38],在箭筈豌豆抗裂荚、老芒麦和垂穗披碱草抗落粒方面也取得了重要突破^[39-40],上述研究有力地推动了草种子生产,也为其他草种的研究提供了参考。

(四) 草种质量管理

国家通过法律、制度以及相关机构的活动,对生产和市场流通的草种进行质量管理,是保证生产者、销售者和使用者权益的重要举措。草种质量管理体系内容主要包括:品种审定、新品种保护、种子检验、种子认证和种子立法等。

1 品种审定、新品种保护 品种审定和新品种保护制度,是针对品种进行管理的内容,前者主要是对产量、品质、抗性等农艺性状的审定,而后者则是通过对品种特异性、一致性和稳定性(distinctness, uniformity and stability, DUS)的测定,保护知识产权和育种者的权益。

1987年,我国开始草品种审定。1999年,我国加入了国际植物新品种保护联盟(UPOV),先后制定了紫花苜蓿、草地早熟禾等20余种牧草的DUS测试指南,作为行业标准。

2 种子检验 我国草类植物种子质量检测机构始建于1982年,在农业农村部的组织领导下,陆续建成了5个部级草种子质量监督检验测试中心,分别设在内蒙古农牧厅、兰州大学、新疆畜牧兽医局、中国农业大学和全国畜牧总站。在种子质量管理方面,发挥了重要作用。以设在兰州大学的种子质检中心为例,该中心自成立以来,年检种子样品数不断提高,近5年平均每年达1500余个,代表种批18800 t,约覆盖全国生产的草种子市场种批数的20%。随着种检中心的陆续成立与种子质量管理工作的加强,我国牧草种子合格率由1990年的不足40%,上升到了近10年的80%左右,种子质量明显提高。

1989年,我国成为国际种子检验协会(ISTA)的成员,中国农业大学和兰州大学的种检中心成为ISTA会员实验室,且中国农业大学的种检中心通过了ISTA的认证。兰州大学王彦荣教授担任ISTA发芽和活力委员会的委员,我国的种子科学工作者开始在国际舞台发挥作用。

在种子质量检测研究方面,我国学者研究提出的红三叶草(*T. pratense*)和紫花苜蓿等小粒豆科种子活力测定方法,已被国际种子检验协会采用^[41]。在种子活力^[42]、禾本科种子半透层^[43]等方面,均取得了突出的成果。特别是在物种真实性和品种纯度检验方面,研发出多光谱成像法^[44]、物理荧光法^[45]、分子标记法^[46]等,用于种子的快速、准确鉴定^[47]。

3 种子立法 我国的种子立法比发达国家晚近200年,瑞士于1816年便颁布了种子法,英国和美国分别于1869和1939年颁布种子法。我国的首部种子相关法令颁布于2000年。2021年修订的《种子法》对种质资源保护、品种选育、审定与登记,新品种保护,种子生产经营,种子监督管理,扶持措施,种子进出口和对外合作,法律责任等方面均进行了明确规定。

二 草种业产能不足,供需矛盾突出

我国草种业经历了从无到有,从小到大的发展历程,初步建立了较完整的产业体系,但仍面临着诸多挑战,尚未完成从草类植物种质资源大国到种业强国的转变。种业产能不能满足日益增长的需求,主要表现在已有的草类植物种质资源尚未充分发挥作用,缺少适用于不同类型退化草地改良、矿区修复等严酷条件下抗逆性强的草类植物新品种。同时,也缺少用于草坪运动场和观赏草地建植的草坪草品种。种子生产规模小、效益低,尚未建立完善的种子生产体系。“有品种、无种子”的局面,有待迅速改变。种子质量管理体系,需要进一步完善。

(一) 种质资源尚未充分发挥作用

我国草类植物种质资源收集与研究工作可概括为:重采集、评价少,重保存、共享少。对重要牧草,如紫花苜蓿、披碱草、老芒麦等,尚未建立核心种质库。从遗传到表型特征,从生态到生产特性,仍需进一步深入研究与了解。尚未建立分子鉴定及高通量智能评价、优异基因挖掘等技术和平台,限制了宝贵资源充分发挥其应有的

作用。

(二) 草类植物品种数量少,难以满足多功能的需求

1 育成品种数量少 2011—2020年,我国培育牧草新品种170个,其中包括紫花苜蓿品种33个,而同期美国培育了1359个,包括紫花苜蓿品种730个,分别是我国的8和22倍。造成这种巨大差异的原因,固然和我国草类植物育种工作起步晚、积累少有直接的关系。但更重要的是我国企业尚未成为创新主体,在草类植物育种等方面,未发挥重要作用。发达国家的草类育种主要由企业完成,由此形成了育种与生产的紧密结合。如美国不同机构从事植物育种的人员分工非常明确(表7)。品种选育工作主要是企业进行,种质创新工作主要由美国农业部(USDA)开展,基础研究则由USDA和试验站共同进行^[48]。

其次,我国与美国品种审定制度存在着差异。美国是登记制,育成品种不需通过国家或州立机构的审定,只需育种者所在单位认可,其衡量品种优异的关键指标,是在生产中发挥的作用及种植的规模。而我国则是品种审定制,如果采用同样的技术培育类似的品种,两种制度相比较,我国育成品种后至应用于生产的时间,要比美国长3~4年。

2 已育成的品种不能满足多区域、多功能的需求

我国通过审定的品种中,绝大多数适用于农田种植,即在较为优异的生长环境下,进行牧草生产。缺少用于环境相对严酷的天然草原补播、改良等适宜品种。而城乡绿化和运动场草坪建植所需的草坪草品种,我国极度缺乏(表8)。

3 分子育种尚未全面展开

制约开展分子育种的3个关键瓶颈是:种质资源的大规模收集和智能化、高精细评价,高效再生、遗传转化和基因编辑体系的建立与优化,牧草基因组高精度组装与利用等^[49]。

(三) 种子单产低、生产规模小

1 单产低 种子生产面临的首要问题是单产低。如我国紫花苜蓿种子平均单产仅为450 kg·hm⁻²,而美国则为950 kg·hm⁻²,我国生产水平仅相当于美国的47%。在甘肃省水热条件优越的河西走廊地区,科学的管理可使大面积种子产量达750 kg·hm⁻²,接近美国单产的80%。在科学试验的小范围内,已经达到美国的单产水平^[50]。

2 种子田面积小 我国专业草种生产田仅10万hm²左右,远低于世界其他主要草种生产国。美国仅俄勒冈州禾本科牧草和草坪草种子田就达20万hm²,年产种子27万t,产值超过10亿美元^[29]。新西兰草种生产田常年维持在2.6万hm²左右,是全球最主要的白三叶草种子生产国。

3 企业产能不足 截至2018年,全国从事草种业的公司一共有64家,占全国草业相关公司总数的8.7%。其中,以种子生产为主的企业仅有4家,而收购与加工兼营的企业为28家,占种子生产企业总数的一半^[51]。国内由公司生产、加工和销售的主要牧草种子包括紫花苜蓿、披碱草、老芒麦、羊茅、早熟禾等,仅占全国当年种子销售量的35%(表9),即65%左右的种子由农户自产,牧草种子生产目前仍处于“自产自用”的小农经济状态。根据国家林业和草原局生态修复规划,每年需要新增用于治理退化草原的种子7万t,国内牧草种子生产企业产能严重不足,供求缺口巨大。此外,我国草业企业创新能力不足、研发投入不够。70%的苜蓿

表7 美国不同机构从事植物育种人员的比例(%)

工作内容	企业	USDA	试验站
品种选育	80	12	41
种质创新	10	48	29
基础研究	10	40	30

来源:[48]。

表8 我国已成草类植物新品种的适用范围

适用范围	数量(个)	占比(%)
农田	439	71.2
天然草原	130	21.1
观赏草地(草坪)	48	7.7

来源:根据农业农村部和国家林业和草原局牧草新品种公告1987—2021年整理。

表9 国内主要牧草种子子公司年产量

牧草	产量(t)	占同类牧草销售总量(%)
紫花苜蓿	814	26
披碱草	4048	34
老芒麦	270	24
羊茅	170	34
早熟禾	75	9

来源:胡小文,未发表资料。

企业科研投入不足5万元·年⁻¹,60%没有自主品牌^[52]。

在大规模种子生产中,缺少专用的种子收获机械,是限制种子产量提高的主要因素之一。如披碱草、老芒麦等种子落粒性强,用现有农作物收获机械收获,仅能收回实际种子产量的1/3左右,造成巨大损失。绝大多数乡土草种的收获与清选依赖人工,未能实现机械化,进一步限制了其产能提升。

缺少政策扶持及成果转化机制,育种和种子生产“两张皮”,最终造成了“有品种,无种子”的局面。

(四) 种子质量管理体系有待完善

我国种子检验队伍的规模需要进一步扩大,人员素质有待进一步提高,管理机制有待明确,种子认证体系缺失。

三 发展我国草种业的若干思考

国家的重大需求为草种业的发展提供了千载难逢的大好机遇,经过几代人数十年的惨淡经营,我国已初步建立了较为完整的草种业体系。在生产、科研、销售、质量管控、人才建设等方面,均奠定了牢固的基础。我们需要充分抓住现有的机遇,同心协力,在国家相关政策的支持下,尽快完成从草种质资源大国到草种业强国的转变。

(一) 进一步加强种质资源的研究

1 加大草类植物种质资源的收集 我国已知草原饲用植物为246科1545属6704种,目前已收集入库的种质资源数为107科692属2105种。收集入库的数量不及已知总数的50%。随着国家工业化、城镇化的发展,草地面积的减少不可避免。部分区域草地退化依然严重,有些重要的草类植物种质资源可能在不知不觉中已经消失。因此,加大草类植物种质资源收集、保存和评价的工作力度,已迫在眉睫。

2 加强科学研究 开展从基因到生态系统方面的系统研究。种质资源库不仅仅是保存种质资源的场所,更是开展科学研究的重要平台。应充分利用现代生物技术、信息技术等手段,开展重要基因的挖掘、种质资源编码等工作,并加强共享。

3 加强种质库建设 应建立主要草种的核心种质与核心基因库。也需加强现有种质库的建设,明确分工、突出特色。建议国家林业和草原局设立木本饲用植物种质资源库及林间草地草类植物种质资源库。在西北,加强寒旱植物种质资源的收集,并建立具有特色的种质库。

(二) 全面加强草类植物育种工作

1 加强乡土草种驯化栽培 乡土草是指自然生长于当地的植物,主要指草本植物,但也包括小半灌木和灌木等,其既可以直接驯化选育为栽培牧草、草坪草或生态修复用草,又可以在明确抗逆机理的基础上,挖掘利用其优异基因^[53]。开发和利用乡土草种质资源已成为当前国际的主要发展趋势。2000年,美国创办了《Native Plants Journal》(《乡土草植物杂志》)。2001年美国农业部土地资源管理局启动了“乡土草研究计划”。澳大利亚也实施了相应的乡土草研究与利用项目,并设立了乡土草网站。我国乡土草的相关研究,得到了国家连续2个“973计划”项目的支持,取得了显著进展,并初步形成了乡土草抗逆生物学的理论体系^[54]。在近自然恢复的理论指导下^[55],加强乡土草的研究和驯化栽培,使其在退化草地修复、高速公路护坡和矿区修复方面发挥重要作用。

2 加强草坪草育种 我国绿化和运动场草坪草用种主要依赖进口,草坪草和草坪的研究以往未纳入国家有关研发计划。对草坪建设是多头管理。当前,国家林业和草原局已将草坪草的研究和草坪的建设管理,纳入林草局的工作范畴,这是一个很大的进步。建议国家加强对草坪草品种选育和草坪管理的研究与生产,早日扭转对国外的依赖程度。

3 加强放牧型牧草育种 我国以往的牧草育种主要集中在刈割利用的牧草,对于选育耐牧牧草品种,建立放牧型栽培草地的研究不多,应予以加强,满足在不适于农作物高产的区域,建立放牧型栽培草地的需求。

(三) 启动优质草种生产工程

1 建立大规模的种子生产基地 在我国西北、华北等适宜种子生产的区域,重点扶持具有发展潜力的龙头企业,实施产学研相结合,打造以“万hm²”为规模的种子生产基地,形成区域产业特色与优势。首先以生产我国已有品种为主,争取短期内扭转“有品种、无种子”的局面,并对种子生产基地给予运营与维持经费,鼓励企业建立研

发机构。

2 建立成果转移、转化的有效渠道 需要建立完整的成果转移渠道,进行种子扩繁和生产,使已有的优良品种尽快应用于生产。

(四) 进一步完善种子质量管理体系

我国尚缺少种子认证体系,亟需实行改革,建立完整的种子认证体系,以便进一步保护新品种权益。在此基础上,可建立育种者效益分成制度,即从销售该品种的收益中,育种者可以提取一定的比例,用于进一步地开展科学研究和补偿个人劳动。同时,设立草类植物育种基金,由企业家出资,政府等额配套,专门用于资助相关的科学研究,促进种业发展。

(五) 加强政策支持与保障

1 提高对草的认识 草地在国家食物安全和生态安全保障中发挥着重要的作用,并且将越来越重要。为提高全民对草地的认识,建议国家适时将“植树造林”调整为“植树种草”。

2 加大科技创新支持力度 加强基础研究。我国草类植物研究,由于起步晚、积累少,加之一些重要牧草多年生、基因组复杂、自交不亲和、杂合度高,同时,对于主要草种的生物学、生态学、生理学等方面均缺少深入的研究,成为采用现代生物技术开展基因编辑、分子设计育种的瓶颈。因此,需要加强草类植物的基础研究,为进一步的研究和发展提供创新的源泉。

3 加强人才培养和队伍建设 建议为本科生开设种业工程等相关课程,并积极创造条件,设立草类植物种业工程专业,培养专门人才。研究生则加强育种学、栽培学、种子生产学等方面的训练,为草种创新提供人才支撑。

4 加强政策支持 饲草作物是重要的农作物之一,发达国家将其统一列入作物(crop)的范畴。如紫花苜蓿在美国,无论是种植规模、产量和经济产值均名列全国第4,仅次于玉米(*Zea mays*)、大豆(*Glycine max*)和小麦(*Triticum aestivum*)(王增裕,未发表资料)。我国长期以来未给饲草以应有的地位,建议国家将饲草与其他粮食与经济作物同等对待,列入政府种植业和农业用地计划,并给予相应的政策与经费支持。全国草种子田的面积呈现逐渐减少的趋势,建议加强种子生产用地和经费保障。

参考文献:

- [1] 贾慎修,陈默君. 中国饲用植物. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [2] 蒋尤泉. 中国作物及其野生资源近缘植物·饲用及绿肥作物卷. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [3] 刘国道,杨虎彪. 中国南方牧草志. 北京: 科学出版社, 2022.
- [4] 赖志强. 广西饲用植物志. 南宁: 广西科学技术出版社, 2010.
- [5] 应朝阳,陈恩,李春燕,等. 福建饲用植物名录. 北京: 科学出版社, 2018.
- [6] 贾存智,王彦荣,李欣勇. 施氮对无芒隐子草种子产量的影响. 草业科学, 2014, 31(9): 1746—1751.
- [7] Zhang J Y, Wu F, Yan Q, *et al.* The genome of *Cleistogenes songorica* provides a blueprint for functional dissection of dimorphic flower differentiation and drought adaptability. *Plant Biotechnology Journal*, 2021, 19(3): 532—547.
- [8] Wang Z Y, Brummer E C. Is genetic engineering ever going to take off in forage, turf and bioenergy crop breeding. *Annals of Botany*, 2012, 110(6): 1317—1325.
- [9] Barros J, Temple S, Dixon R A. Development and commercialization of reduced lignin alfalfa. *Current Opinion in Biotechnology*, 2019, 56: 48—54.
- [10] Johnson L J, Voisey C R, Faville M J, *et al.* Advances and perspectives in breeding for improved grass-endophyte associations//Huguein-Elie O, Studer B, Kölliker R, *et al.*, eds. Improving sown grasslands through breeding and management. Proceedings of the Joint 20th Symposium of the European Grassland Federation and the 33rd Meeting of the EUCARPIA Section ‘Fodder Crops and Amenity Grasses’ Zürich, Switzerland. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2019.
- [11] 李锦华,田福平,马振宇. 苜蓿新品种“中兰1号”的选育及其栽培要点. 中国草食动物, 2008, 8(1): 43—45.
- [12] 李亚姝,温雅洁,赵晓东,等. 施钾对紫花苜蓿苗期光合特性及抗薹马的影响. 草原与草坪, 2021, 41(4): 42—48, 55.
- [13] Duan Z, Zhang D, Zhang J, *et al.* Co-transforming bar and CsALDH genes enhanced resistance to herbicide and drought and salt stress in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6: DOI: 10.3389/fpls.2015.01115.

- [14] Zhang J, Duan Z, Zhang D, *et al.* Co-transforming bar and CsLEA enhanced tolerance to drought and salt stress in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2016, 472(1): 75–82.
- [15] 罗栋. 紫花苜蓿耐旱基因挖掘及 *MsNTF2L* 和 *MsDIUP1* 的耐旱功能解析. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [16] Bao A K, Du B Q, Touil L, *et al.* Co-expression of tonoplast Cation/H⁺ antiporter and H⁺-pyrophosphatase from xerophyte *Zygophyllum xanthoxylum* improves alfalfa plant growth under salinity, drought and field conditions. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14(3): 964–975.
- [17] 罗雯. 转 *PeDREB2a* 和 *KcERF* 基因紫花苜蓿新材料的获得与抗性分析. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [18] 王可心, 刘燕蓉, 仇入梦, 等. 转 *QQS* 基因提高紫花苜蓿品质//中国草学会年会论文集. 广州: 中国草学会, 2017.
- [19] 张婧. T₂代共表达 *ZxNHX1-ZxVP1-1* 转基因紫花苜蓿抗旱耐盐性评价及 *ZxNHX1* 和 *PcCLCg* 对紫花苜蓿的聚合转化. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [20] Wang K, Liu Y, Teng F, *et al.* Heterogeneous expression of *Osa-MIR156bc* increases abiotic stress resistance and forage quality of alfalfa. *Crop Journal*, 2021, 9(5): 1135–1144.
- [21] Guan C, Cui X, Liu H, *et al.* Proline biosynthesis enzyme genes confer salt tolerance to switch grass (*Panicum virgatum* L.) in cooperation with polyamines metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: DOI: 10.3389/fpls.2020.00046.
- [22] 张伟伟, 袁蓓, 张占路, 等. 禽流感血凝素 HA 超表达载体的构建及高表达百脉根的获得. *草业学报*, 2014, 23(4): 138–145.
- [23] Zhou M L, Ma J T, Zhao Y M, *et al.* Improvement of drought and salt tolerance in *Arabidopsis* and *Lotus corniculatus* by overexpression of a novel DREB transcription factor from *Populus euphratica*. *Gene*, 2012, 506(1): 10–17.
- [24] Wang D, Luo W, Khurshid M, *et al.* Co-expression of *PeDREB2a* and *KcERF* improves drought and salt tolerance in transgenic *Lotus corniculatus*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2018, 37(2): 550–559.
- [25] 杨宝萍, 郭欢, 施颖, 等. 紫花苜蓿叶酸合成关键酶 *GCHI* 和 *ADCS* 编码基因的克隆及分析. *植物生理学报*, 2017, 53(7): 1234–1244.
- [26] Bao G, Zhuo C, Qian C, *et al.* Co-expression of *NCED* and *ALO* improves vitamin C level and tolerance to drought and chilling in transgenic tobacco and stylo plants. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14: 206–214.
- [27] 李春杰, 王正凤, 陈泰祥, 等. 利用禾草内生真菌创制大麦新种质. *科学通报*, 2021, 66(20): 2608–2617.
- [28] Chen Z, Li C, Nan Z, *et al.* Segregation of *Lolium perenne* into a subpopulation with high infection by endophyte *Epichloë festucae* var. *lolii* results in improved agronomic performance. *Plant and Soil*, 2020, 446(1): 595–612.
- [29] 王雪萌, 张涵, 宋瑞, 等. 中美牧草种子生产比较. *草地学报*, 2021, 29(10): 2115–2125.
- [30] 张蕊. 国外草坪种子生产现状. 2018. <http://www.caoye.org/hangyezixun/186.html>.
- [31] Fahey D T, Hampton J G. Forage seed production, Volume 1: Temperate species. Wallingford: CABI Publishing, 1997.
- [32] Loch D S, Ferguson J E. Forage seed production, Volume 2: Tropical and subtropical species. Wallingford: CABI Publishing, 1999.
- [33] 南志标. 进行野生牧草驯化、选育工作的几点体会. *草原科技资料*, 1975, 4: 193–201.
- [34] 全国畜牧总站. 中国草业统计(2019). 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [35] 毛培胜, 王明亚. 种子生产的原理与技术//南志标, 侯向阳. 草地农业的原理与实践. 北京: 科学出版社, 2021.
- [36] Li X Y, Wang Y R, Wei X, *et al.* Planting density and irrigation timing affects *Cleistogenes songorica* seed yield sustainability. *Agronomy Journal*, 2014, 106: 1690–1696.
- [37] Tao Q, Bai M, Han Y, *et al.* Optimizing between-row and within-row spacing for *Artemisia sphaerocephala* (Asteraceae) seed production. *Industrial Crops and Products*, 2019, 139: DOI:10.1016/j.indcrop.2019.111490.
- [38] Tao Q, Bai M, Jia C, *et al.* Effects of irrigation and nitrogen fertilization on seed yield, yield components, and water use efficiency of *Cleistogenes songorica*. *Agronomy*, 2021, 11(3): DOI:10.3390/agronomy11030466.
- [39] Jia C L, Dong D K, Zhou Q, *et al.* Significant cell difference of pod ventral suture in shatter-resistant and shatter-susceptible common vetch accessions. *Crop Science*, 2021, 61: 1749–1759.
- [40] Zhao Y Q, Zhang J C, Zhang Z Y, *et al.* *Elymus nutans* genes for seed shattering and candidate gene-derived EST—SSR markers for germplasm evaluation. *BMC Plant Biology*, 2019, 19: 102.
- [41] Wang Y R, Yu L, Nan Z B, *et al.* Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Science*, 2004, 44(2): 535–541.
- [42] 王彦荣, 刘友良, 沈益新. 牧草种子活力检测技术述评. *草业学报*, 2001, 10(1): 48–57.
- [43] 周晶, 王彦荣. 种子半透层研究进展. *西北植物学报*, 2012, 32(9): 1928–1934.

- [44] Hu X, Yang L, Zhang Z, *et al.* Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral imaging. *Seed Science and Technology*, 2020, 48(1): 83–99.
- [45] 孙建华. 苜蓿与草木樨种子鉴别技术的研究. *草地学报*, 1996, 4(2): 121–125, 133.
- [46] Wu Y, Liu J, Luo D, *et al.* A universal method for rapid identification of alfalfa and burr medic seeds with an emphasis on discriminating different forage species. *Grass and Forage Science*, 2021, 76(3): 353–362.
- [47] 王彦荣, 胡小文. 种子质量控制的原理与技术//南志标, 侯向阳. *草地农业的原理与实践*. 北京: 科学出版社, 2021.
- [48] Gepts P, Hancock J. The future of plant breeding. *Crop Science*, 2006, 46(4): 1630–1634.
- [49] 刘志鹏, 周强, 刘文献, 等. 中国牧草育种中的若干科学问题. *草业学报*, 2021, 30(12): 184–193.
- [50] Zhang T J, Wang X G, Han J G, *et al.* Effects of between-row and within-row spacing on alfalfa seed yields. *Crop Science*, 2008, 48(2): 794–803.
- [51] 全国畜牧总站. *中国草业统计(2018)*. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [52] 潘文杰. *基于价值链的甘肃省苜蓿企业发展现状研究*. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [53] 南志标, 王锁民, 王彦荣, 等. 我国北方草地6种乡土植物抗逆机理与应用. *科学通报*, 2016, 61(2): 239–249.
- [54] 南志标, 王彦荣, 傅华, 等. *乡土草抗逆生物学*. 北京: 科学出版社, 2021.
- [55] 贺金生, 卜海燕, 胡小文, 等. 退化高寒草地的近自然恢复: 理论基础与技术途径. *科学通报*, 2020, 65(34): 3898–3908.