

· 双清论坛“新时期草学的重大基础科学问题” ·

我国牧草育种进展及存在问题*

刘志鹏¹ 刘文献¹ 杨青川² 张博³ 王增裕⁴ 郭振飞⁵
付春祥⁶ 林浩⁷ 张志强⁸ 黄琳凯⁹ 刘文辉¹⁰ 谢文刚¹
苗彦军¹¹ 尹俊¹² 张吉宇¹ 景海春¹³ 南志标¹ 种康^{13**}

1. 兰州大学 草种创新与草地农业生态系统全国重点实验室, 兰州 730020
2. 中国农业科学院 畜牧兽医研究所, 北京 100193
3. 新疆农业大学 草业学院, 乌鲁木齐 830052
4. 青岛农业大学 草业学院, 青岛 266109
5. 南京农业大学 草业学院, 南京 210095
6. 中国科学院 青岛生物能源与过程研究所, 青岛 266101
7. 中国农业科学院 生物技术研究所, 北京 100081
8. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010018
9. 四川农业大学 草业科技学院, 成都 625014
10. 青海大学 畜牧兽医科学院, 西宁 810016
11. 西藏农牧学院 动物科学学院, 林芝 860000
12. 云南省林业和草原局, 昆明 650224
13. 中国科学院 植物研究所, 北京 100093

[摘要] 高产、优质、多抗牧草品种是保证我国草牧业可持续发展的关键,关系到国家的粮食安全、生态安全和乡村振兴。自1987年至2022年底,国家审定和省级审定(西部七省份)分别通过了674个和271个草类植物新品种,并制定了25个牧草种/属的DUS测试指南。但我国牧草育种在种质资源收集、育种方法、育种方向、DUS测试和资源共享等方面仍比较薄弱,严重阻碍了我国草牧业发展进程。本文综述了我国牧草品种审定进展,分析了目前我国牧草育种存在的问题并提出建议,以期促进我国培育具有自主知识产权的高产、优质、多抗牧草新品种。

[关键词] 牧草;品种;育种;存在问题;政策建议



种康 中国科学院植物研究所研究员,中国科学院院士,国际欧亚科学院院士,中国植物学会理事长, *Journal of Integrative Plant Biology* 共同主编,《植物学报》荣誉主编。主要从事水稻感受低温信号网络与分子设计、苜蓿耐逆性状分子设计以及小麦春化分子机理研究。主持承担多项重大研究项目,包括中国科学院战略性先

导专项、科技部国家重点基础研究发展计划和国家高技术研究发展计划等项目。发表主要学术论文100余篇,授权国家专利40余件,获何梁何利基金科学与技术进步奖等。



刘志鹏 兰州大学草地农业科技学院教授,甘肃省领军人才,国家林草局林草科技创新领军人才,农业农村部神农青年人才。现任草种创新与草地农业生态系统全国重点实验室副主任、兰州大学草地农业科技学院副院长,主持国家重点研发计划课题2项,国家自然科学基金项目6项,获得国家自然科学基金优秀青年科学基金资助。主要从事牧草遗传育种研究,以第一或通讯作者发表论文80余篇,授权国家专利18件,担任6种国内外期刊编委,培育牧草新品种(系)5个,转基因紫花苜蓿抗逆新材料5份。

收稿日期 2023-04-25;修回日期:2023-07-22

* 本文根据第313期“双清论坛”讨论的内容整理。

** 通信作者,Email: chongk@ibcas.ac.cn

本文受到中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA26030103)资助。

优质牧草不仅是我国畜牧业发展的基石,也是国家食物安全的重要保障^[1]。2022 年,农业农村部印发的《“十四五”全国饲草产业发展规划》中提出要确保牛羊肉和奶源自给率的目标,优质饲草的需求总量将超过 1.2 亿吨,存在 5 000 万吨的缺口。该规划为我国草种业发展指明了方向,目前我国牧草育种产业“卡脖子”问题依旧突出,主要原因有两点:第一,我国自主培育的牧草品种数量偏少,截至 2022 年底,我国国审牧草新品种仅有 674 个,而美国和欧洲国家登记的牧草品种达 5 000 多个;第二,我国自主选育牧草品种在生产性能、饲用品质等方面难以超越引进品种,导致 1/3 以上商业化牧草种源依赖进口^[2]。因此,加快我国牧草育种进程已迫在眉睫。

本文将总结我国牧草品种审定进展,阐述我国牧草育种的现状和挑战,并提出若干建议,以期为我国牧草育种发展提供指导。

1 我国牧草品种审定进展

我国草类植物育种起步于 20 世纪 50 年代初,落后于欧美等发达国家半个世纪左右。在草品种审

定过程中,国家农业农村部和国家林业和草原局分别于 1987 年和 2019 年成立了全国草品种审定委员会,并分别于 2008 年和 2019 年成立了全国草品种区试网,使我国草类植物育种工作更加科学化、准确化、标准化和规范化,极大推动了我国草类植物育种进程和品种选育的多元化^[2]。1987—2022 年底,全国 2 个草品种审定委员会共审定通过 674 个草类植物新品种(图 1A)。其中,2021 年和 2010 年通过审定登记品种较多,分别达到 47 个和 46 个;2012 年和 2013 年通过审定登记品种最少,仅为 9 个。在审定登记的 4 类品种类型中(图 1B),按照品种类型来分,依次为育成品种(257 个,38.13%)、引进品种(192 个,28.49%)、野生栽培品种(161 个,23.89%)和地方品种(64 个,9.49%)。按照物种来分(图 1C),数量最多的前 10 个物种分别为苜蓿(*Medicago* spp.) (116 个,17.21%)、黑麦草(*Lolium* spp.) (32 个,4.75%)、饲用玉米(*Zea mays*) (22 个,3.26%)、燕麦(*Avena sativa*) (19 个,2.82%)、高粱(*Sorghum bicolor*) (18 个,2.67%)、鸭茅(*Dactylis glomerata*) (17 个,2.52%)、狗牙根

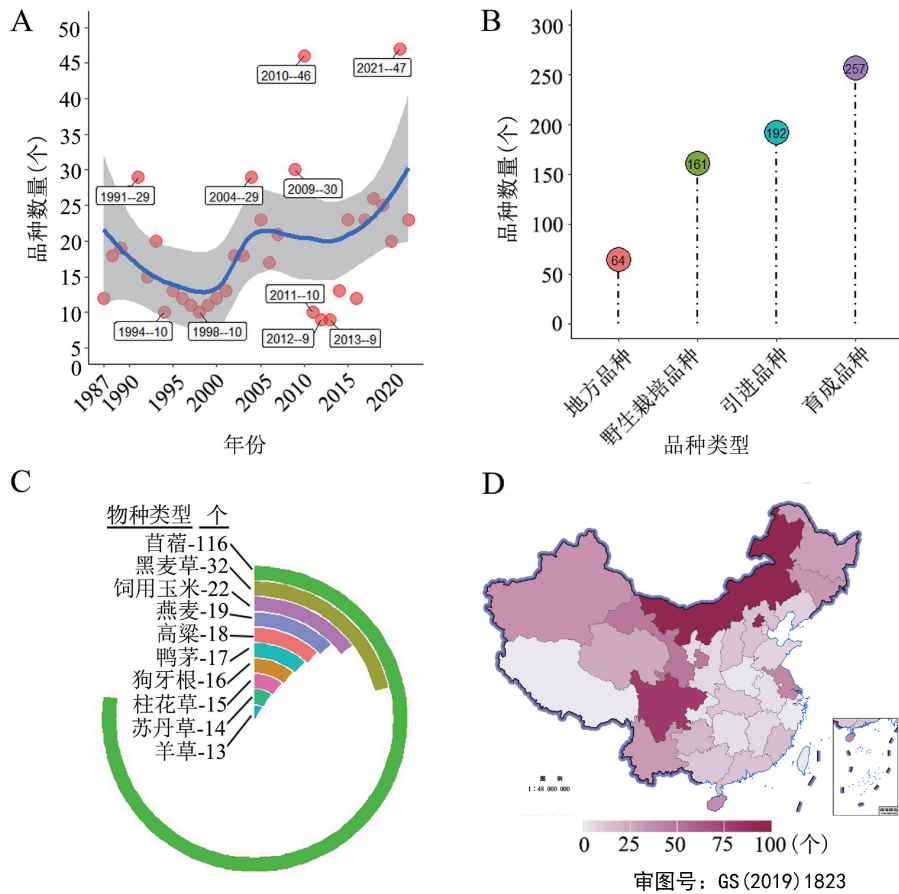


图 1 全国草品种审定委员会审定通过草品种信息:A. 1987 年—2022 年底不同年份通过国审品种数量, B. 不同类型国审品种数量,C. 不同物种国审品种数量,D. 不同省(自治区、直辖市)品种数量

(*Cynodon dactylon*) (16 个, 2.37%)、柱花草 (*Stylosanthes guianensis*) (15 个, 2.23%)、苏丹草 (*Sorghum sudanense*) (14 个, 2.08%) 和羊草 (*Leymus chinensis*) (13 个, 1.93%)。根据审定品种来源地(省、自治区、直辖市)来分,数量最多的前 10 个省(自治区、直辖市)分别为北京、内蒙古、四川、甘肃、江苏、海南、新疆、吉林、云南和黑龙江(图 1D)。其中,中国农业科学院北京畜牧兽医研究所育成了中苜系列紫花苜蓿(*Medicago sativa*)新品种,包括耐盐苜蓿中苜 1 号、中苜 3 号、中苜 5 号,高产苜蓿中苜 2 号、中苜 4 号,早熟中苜 7 号等,推广遍及山东、河北、内蒙古、山西、北京、天津等省区。中国科学院植物研究所育成中科系列羊草新品种,具有较强的抗逆性,可在内蒙古、河北、黑龙江、新疆、宁夏等地大面积种植。兰州大学草地农业科技学院育成了兰箭系列箭筈豌豆(*Vicia sativa*)新品种,具有耐干旱、耐高寒、耐盐碱等特性,已在甘肃、青海、西藏、四川、云南等省区大面积推广。这些育成的新品种产生了较大的经济效益、社会效益和生态效益。

除全国草品种审定委员会,近年来各地也相继成立了地方草品种审定委员会或林草品种审定委员会,并审定登记了一些牧草品种。表 1 统计了我国 7 个草原面积较大的省(自治区、直辖市)审定通过的牧草品种,其中内蒙古自治区 2011—2021 年审定登记品种 172 个,年均 15.6 个;其次是四川省 4 年累计

审定登记品种 34 个,年均 8.5 个,甘肃省 3 年累计审定登记品种 30 个,年均 10 个,云南省 2 年累计审定登记 15 个,年均 7.5 个,青海省 5 年累计审定登记 13 个,年均 2.6 个;西藏自治区和新疆维吾尔自治区相对较少,其中新疆 2021 年审定登记 1 个省审牧草品种。按照品种类型来分(图 2A),依次为育成品种(163 个, 60.15%)、野生栽培品种(58 个, 21.40%)、引进品种(40 个, 14.76%)和地方品种(10 个, 3.69%)。另外,按照物种来分(图 2B),数量最多的前 10 个物种分别为玉蜀黍(饲用玉米)(42 个, 16.41%)、燕麦(36 个, 13.28%)、苜蓿(32 个, 11.81%)、羊草(9 个, 3.32%)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)(7 个,

表 1 草原面积较大的西部 7 省(自治区、直辖市)审定通过的草类植物品种数量(截至 2022 年底)

序号	省份/自治区	品种数(个)	审定年份
1	内蒙古	172	2011—2021
2	四川	34	2016—2018, 2021
3	甘肃	30	2013—2014, 2022
4	云南	15	2021—2022
5	青海	13	2005, 2011, 2013, 2021—2022
6	西藏	6	2020
7	新疆	1	2021

数据来源:1. 内蒙古农业大学张志强副教授;2. 四川农业大学黄琳凯教授;3. 兰州大学张吉宇教授;4. 云南省林业和草原局尹俊;5. 青海大学刘文辉教授;6. 西藏农牧学院苗彦军教授;7. 新疆农业大学张博教授。

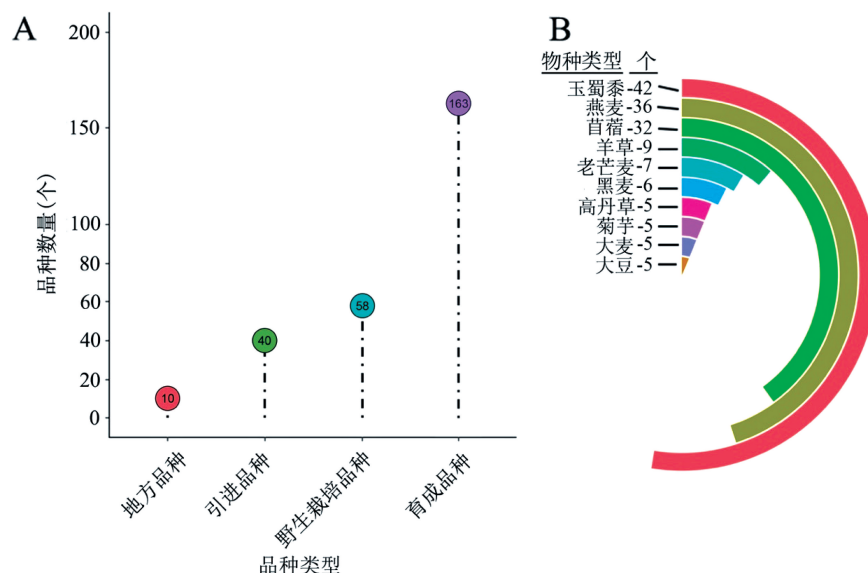


图 2 省级审定(西部七省份)草品种审定委员会审定通过草品种信息: A. 不同类型省审品种数量, B. 不同物种省审品种数量

2.58%)、黑麦(*Secale cereale*) (6 个, 2.21%)、高丹草(*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*) (5 个, 1.85%)、菊芋(*Helianthus tuberosus*) (5 个, 1.85%)、大麦(*Hordeum vulgare*) (5 个, 1.85%) 和大豆(*Glycine max*) (5 个, 1.85%)。

虽然近年来我国牧草育种工作取得了较大进展, 但与同期美国相比仍有较大差距。例如, 美国官方种子认证机构协会 (Association of Official Seed Certifying Agencies, AOSCA) 在 2013—2022 年审定登记苜蓿品种 1 136 个, 而我国同期审定登记苜蓿品种仅有 41 个。这种巨大差异的原因不仅与我国草类植物育种工作起步晚、积累少、育种队伍规模小、科研经费缺乏等因素有关, 也与两国的育种主体及品种审定制度差异有直接关系, 美国草类育种工作主要由企业和基金会完成, 育种与生产紧密结合, 而我国育种主体是科研院所和高等院校。

国内外牧草育种在方法上仍以常规杂交、选择育种为主, 转基因育种和分子辅助设计育种应用相对较少。截至目前, 只有美国育成了抗除草剂草甘膦 (Roundup Ready™ J101)^[3] 和低木质素含量 (HarvXtra™ KK179)^[4] 的转基因苜蓿品种, 并进行大规模生产。而且自 2015 年以来 (图 3), 美国单独利用抗除草剂草甘膦转基因苜蓿品种作为亲本共培育了 204 个新品种; 同时利用抗除草剂草甘膦转基因苜蓿品种和低木质素转基因苜蓿品种为亲本, 通过“综合品种法 (Synthetic Variety)”培育了 62 个紫花苜蓿新品种。

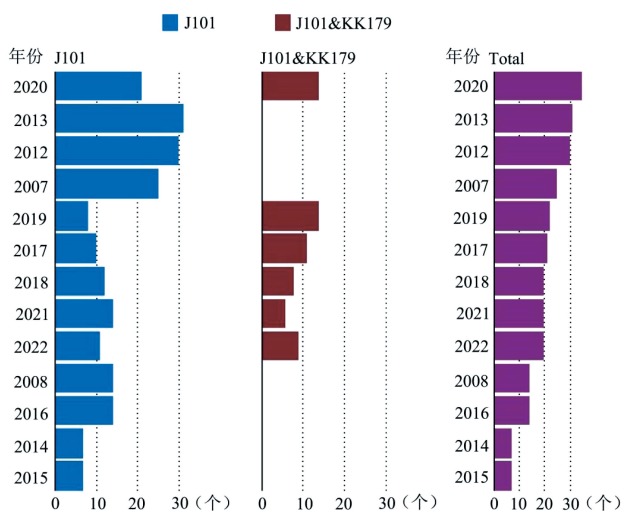


图 3 美国利用抗除草剂草甘膦 (Roundup Ready J101) 和低木质素含量 (HarvXtra KK179) 转基因紫花苜蓿品种作为亲本进行选育新品种统计

数据来源: <http://www.naaic.org/resource/cultivar.php>

2 牧草育种存在的问题

2.1 种质资源收集与评价不足

牧草种质资源是选育新品种的物质基础。我国拥有丰富的牧草种质资源, 据报道, 仅饲用植物就有 5 门 246 科 1 545 属 6 704 种, 包括 1 231 种豆科植物和 1 127 种禾本科植物^[5]。截至目前, 中国农业科学院草原研究所、全国畜牧总站和热带牧草种质库已分别收集草类植物种质资源 1.83 万、5.58 万和 1.53 万份, 这使我国保存的草类植物种质资源数量位居全世界第二, 仅次于新西兰。但是, 现收集的种质资源仅涵盖了 107 科 692 属 2 105 种, 还不到已知总数的一半, 有待于进一步加强收集力度^[2]。另外, 我国牧草种质资源的收集工作普遍存在重收集、轻评价的缺陷, 评价工作相对滞后。截至 2018 年, 在全国畜牧总站收集的 5.58 万份牧草种质资源中, 完成农艺性状评价的种质共计 16 681 份, 约占已收集总数的 20%; 进行抗旱性、耐盐性、抗寒性、耐热性、抗病性及抗虫性评价的种质数量仅有 8 758 份, 约占收集总数的 10%^[6]。

2.2 传统育种进展缓慢、分子育种利用不足

我国牧草育种工作起步较晚, 方法较为落后, 现有牧草品种大多是通过驯化选育和常规育种选育而成。常规育种存在耗时长、不良基因连锁以及筛选困难等缺陷, 极大地阻碍了牧草遗传改良的进程^[7]。21 世纪以来, 随着分子和基因组工具驱动现代育种技术和组学平台的不断优化, 通过突变、基因定位和挖掘、转基因和基因编辑等育种手段, 可以解锁和创造有利的遗传变异, 并通过分子标记辅助选择、双单倍体诱导、从头驯化等育种新方法加快育种程序, 从而缩短育种周期^[8, 9]。但是, 对于绝大多数牧草而言, 受限于其异花授粉、多倍体遗传、杂合体等生物学特性^[10], 以及缺乏基因组信息、突变体库和稳定遗传转化体系的研究现状^[7], 分子育种方法在牧草上的应用尚不成熟。目前仅有紫花苜蓿、羊草、白三叶、蒺藜苜蓿 (*Medicago truncatula*)、百脉根 (*Lotus corniculatus*)、二穗短柄草 (*Brachypodium distachyon*)、多年生黑麦草 (*Perennial ryegrass*)、柳枝稷 (*Panicum virgatum*) 等牧草已经建立了相对成熟的稳定遗传转化系统^[7]。相比之下, 其他牧草的稳定遗传转化报道相对较少, 有些甚至只有零星报道, 并且效率不高。而且, 即使以组学信息、遗传转化体系等研究基础较为成熟的紫花苜蓿为例, 目前全球通过转基因手段获得商业化品种仅有抗草

甘麟苜蓿(Roundup Ready™ Alfalfa)和低木质素苜蓿(HarvXtra™, KK179),它们均由美国育种机构育成,并已在全球多个国家获得授权^[11]。我国牧草分子育种研究更为滞后,虽然26个优质、高产的转基因牧草新材料已经获批了农业农村部中间试验,包括15个紫花苜蓿、5个柳枝稷、5个百脉根和1个柱花草转基因新材料^[2](刘志鹏提供未发表数据),但目前尚无转基因牧草获批农业农村部环境释放和生产性试验,距离审定转基因新品种还有很长的距离。

2.3 育种性状、方向单一

我国现有育成牧草品种还存在育种性状、方向单一的问题。在育种性状方面,现有品种育种目标大多以高产为主,而兼具抗逆特性的品种较少,尤其是抗病虫害的品种^[2],以品种数量最多的紫花苜蓿(共87个)为例,其中抗病虫害的品种仅有4个,分别是中兰1号(抗霜霉病)、甘农5号(抗蓟马)、草原4号(抗蓟马)和甘农9号(抗蚜虫)。在育种方向方面,现有品种中以饲用为主的草种数量最多,而草坪草、生态修复和生态型为主的草种数量相对较少。例如苜蓿属的草种数量最多(114个),其次为高粱属(*Sorghum*)(29个)、黑麦草属(*Lolium*)(24个)和玉蜀黍属(*Zea*)(21),其余属的草种数量均不足20个(图4A)。南志标^[2]将我国已审定草类植物新品种的适用范围划分为3类,包括农田、天然草原和观赏草地(草坪),其中适用于农田的草种占比71.2%,适用于天然草原和观赏草地(草坪)的草种占比分别为21.1%和7.7%。此外,据牧草产业体系办公室数据显示(图4B),近十年我国草种子平均进口量为5.09万吨,其中黑麦草的占比高达55.5%,其次为羊茅(24.8%)、草地早熟禾(9.8%)

和三叶草(5.1%)。因此,不论是我国已审定的草种现状,还是进口草种子数据,均反映出我国育种工作在牧草、草坪草和生态修复草种方面的严重不足。

2.4 DUS测试研制较为薄弱

植物品种的特异性(Distinctness)、一致性(Uniformity)和稳定性(Stability)测试(简称“DUS测试”)是保护育种者原始创新、提高育种家积极性和促进植物育种工作发展的重要手段^[12, 13]。我国自1999年加入国际植物新品种保护联盟(International Union for the Protection of New Varieties of Plants, UPOV)开始实施植物品种保护制度,目前已制定了200多个农业植物新品种DUS测试指南,但是关于牧草DUS测试指南的研发进度较为缓慢。经查阅国家、行业、地方标准以及相关文献资源,我国目前已有25个种/属完成了DUS测试指南^[14-19](表2),如常见牧草紫花苜蓿(*M. sativa*)、燕麦、鸭茅、箭筈豌豆(*Vicia sativa*)等,但是如羊草、高粱等重要牧草的DUS测试指南还未研制。与我国丰富的牧草种质资源和已审定的草种数量相比,目前已公布的DUS测试指南还不足以发挥对我国牧草新品种的保护作用。

2.5 资源共享体系不健全

目前我国多个机构建立了牧草种质资源库。中国农业科学院草原研究所通过“牧草种质资源标准化整理、整合及共享试点”项目的实施,构建了中国牧草种质资源信息网,目前已共享9889份牧草种质资源;全国畜牧总站通过牧草种质资源保护项目,建立了牧草种质资源开放共享服务平台,累计为科研、教学、生产单位提供草种质材料7156份^[6]。但是,很多种质资源库以及平台仍存在信息共享不足、利用率不高等问题。

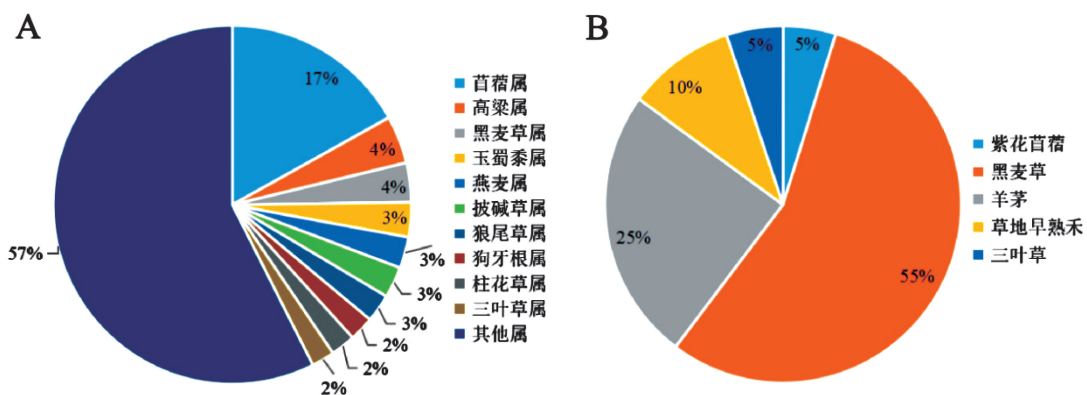


图4 截至2022年底我国饲用牧草、草坪草和生态修复草的利用情况:A. 已审定草种按属分类统计, B. 2013—2022年我国进口草种子年均比例

表 2 我国已公布的牧草 DUS 测试指南

序号	种/属名称	名称	来源
1	稗	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 稗 稗新品种 DUS 测试指南的研制	行业标准 NY/T 2566-2014 刘杰淋等, 2015 ^[14]
2	鸭茅	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 鸭茅	行业标准 NY/T 2490-2013
3	燕麦	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 燕麦	行业标准 NY/T 2355-2013
4	大麦	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 大麦	行业标准 NY/T 2224-2012
5	酸模属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 酸模属	行业标准 NY/T 2570-2014
6	冰草属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 冰草属	行业标准 NY/T 2483-2013
7	无芒雀麦	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 无芒雀麦	行业标准 NY/T 2484-2013
8	鹰嘴豆	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 鹰嘴豆	行业标准 NY/T 2487-2013
9	结缕草属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 结缕草属	行业标准 NY/T 2489-2013
10	狗牙根	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 狗牙根	行业标准 NY/T 2491-2013
11	籽粒苋	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 籽粒苋	行业标准 NY/T 2499-2013
12	白三叶	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 白三叶	行业标准 NY/T 2565-2014
13	高羊茅	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 高羊茅 草地羊茅	行业标准 NY/T 2573-2014
14	草地羊茅	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 高羊茅 草地羊茅	行业标准 NY/T 2573-2014
15	红三叶	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 红三叶 红三叶新品种 DUS 测试指南的研制	行业标准 NY/T 2480-2013 王建丽等, 2014 ^[15]
16	黑麦草属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 黑麦草属	行业标准 NY/T 2485-2013
17	披碱草属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 披碱草属 披碱草属植物新品种特异性、一致性和稳定性测试	行业标准 NY/T 2486-2013 张一弓等, 2013 ^[16]
18	草地早熟禾	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 草地早熟禾	行业标准 NY/T 2428-2013
19	狼尾草属	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 狼尾草属	行业标准 NY/T 2356-2013
20	紫花苜蓿	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 紫花苜蓿和杂花苜蓿	行业标准 NY/T 2747-2015
21	杂花苜蓿	植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 紫花苜蓿和杂花苜蓿	行业标准 NY/T 2747-2015
22	柱花草属	植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南 柱花草属	行业标准 NY/T 3434-2019
23	假俭草	植物品种特异性(可区别性)、一致性和稳定性测试指南假俭草 假俭草 DUS 测试指南研制及其抗寒生理特性的研究	行业标准 NY/T 3722-2020 罗涵夫, 2018 ^[17]
24	补血草属	植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南 补血草属	行业标准 NY/T 3431-2019
25	箭筈豌豆	箭筈豌豆新品种 DUS 测试指南研制—测试性状评价和参照品种筛选 救荒野豌豆品种 DUS 测试指南研制	闵学阳等, 2019 ^[18] 单飞彪等, 2022 ^[19]

除牧草种质资源信息外,已审定的牧草品种信息也面临类似的共享问题。截至目前,尚缺乏网站、平台或刊物整理汇总已审定所有牧草品种的信息,包括国审、省审品种。此外,有些牧草品种是通过省级草(农作物或林木、林草)品种审定委员会审定的,品种信息难以统计。

3 牧草育种研究若干建议

3.1 进一步强化种质资源收集与高通量表型评价

种质资源收集与高通量表型评价是现代牧草育种的重要环节,对于提高育种效率和牧草品质具有重要意义。在种质资源收集方面,应建立健全中心库、备份库和种质保存圃相结合的国家牧草种质资源收集保存利用体系,为牧草育种提供更多的遗传资源。坚持广泛收集与重点收集相结合的原则,广泛收集资源库尚未保存的牧草种质,包括野生和栽

培品种,增加物种多样性,并加强对珍稀濒危种、特有种、野生近缘种、乡土草种及地方品种的保护和利用^[20]。同时,针对资源库中一些利用价值高、应用广泛的重点属种定期开展查漏补缺,加强重点属种的专门收集,涵盖重点属种的各类突变群体、生态型群体,提高重点属种的完整性^[21]。

在高通量表型评价方面,可以采用无损、高效的技术手段,如红外光谱技术、近红外光谱技术、图像处理技术等,以高通量、准确、多层次地评价牧草的表型多样性、生物量、抗性等重要特性。同时,注意建立完整的数据库和分析平台,以便更好地进行数据处理和分析,开发更加高效和准确的评价方法,为牧草育种提供更多的技术支持。

3.2 侧重重要牧草物种和农艺性状的基础研究

牧草物种和农艺性状的选择对现代育种工作至关重要,对于提高育种效率和牧草品质具有重要意义

义。在物种选择上,我国牧草种类繁多,具有饲用价值的植物约有6000余种^[2,7],每个物种齐头并进开展研究显然是不现实的。建议优先选取栽培利用面积大、产量高、经济价值突出、驯化时间较长、代表性强的物种开展系统的基础研究,如豆科的紫花苜蓿、白三叶、箭筈豌豆、扁蓿豆(*M. ruthenica*)等,禾本科的燕麦、羊草、饲用高粱、黑麦草、披碱草(*Elymus dahuricus*)等。在广泛收集、评价种质资源的基础上,建立基因组、泛基因组等数据库、构建稳定遗传转化体系、基因编辑体系,以及高通量表型组获取技术,对于自花授粉牧草可以考虑构建突变体库。对苜蓿属、披碱草属、赖草属、黑麦草属等含有重要牧草的属,开展演化规律研究、种质多样性研究和重要性状驯化路径研究等。

在性状选择上,由于人力、物力等限制,也应当有所侧重。对于主要牧草而言,高地上生物量、刈割再生、高蛋白、消化率、低木质素、固氮、耐非生物逆境、耐践踏、种子硬实、雄性不育、结实率、抗病、杂种优势、单倍体诱导、昆虫传粉等性状都值得逐步深入研究;在我国,大多数牧草主要种植在中低产田、撂荒地、土壤贫瘠和盐碱地等土壤肥力低下或环境恶劣的区域,人力和物力投入又较少,研究高抗与高产、优质等多性状协同改良分子机制具有重大意义。对于其他牧草,可以先考虑地上生物量(丰产性能)、种子产量这两个关键育种性状进行研究。逐步挖掘牧草高产、优质、多抗关键基因、阐明分子模块调控机理,通过分子标记辅助选择、基因编辑育种、全基因组选择育种结合常规育种和育种加速器等技术,加速培育高产优质抗逆牧草新品种。

3.3 构建多组学组平台和基因工程体系

牧草大多数重要的农艺性状都是由多基因控制的复杂性状,控制这些复杂性状的基因调控网络通常呈“模块化”特性,而现有的分子育种技术无法解决复杂农艺性状的遗传改良这一难题。因此,分子模块设计育种这一新型育种理念由此被提出,成为当前牧草育种研究重要的研究方向,预期是培育超级牧草品种的变革性技术^[10]。

目前,分子设计育种已经在水稻和大豆等主要农作物中取得了丰硕的成果,但在牧草育种中的应用鲜有报道^[1]。建议参考作物的分子设计育种研究模式,建立牧草研究范式。首先,构建牧草遗传研究大群体,加大对牧草基因组、转录组学、代谢组学等多维组学数据的开发,并利用全基因组关联研究(Genome-wide Association Studies, GWAS)或全基

因组定位(Quantitative Trait Loci, QTL)等技术对各类组学数据、群体表型数据及优异等位变异数据进行整合,广泛挖掘牧草复杂农艺性状的基因模块。其次,建立成熟的牧草遗传转化和基因编辑体系,解析牧草复杂农艺性状的精准调控网络和基因耦合机制,并对发掘基因的模块进行优化,提出最佳选配策略。最后,在全基因组水平上进行多模块优化组装,实现复杂性状的定向改良,提高牧草的生产力和抗逆性能^[22]。

3.4 补齐牧草 DUS 测试短板

近年来我国部署了系列牧草育种项目,未来5~10年,国家和各省(自治区、直辖市)将会审定登记一大批牧草新品种,10年后,牧草品种的数量会迅速增加,品种类型将会丰富多样,但如何保护育种家权益和品种同质化问题也将日益突出,科学和健全的DUS测试质量评审制度有助于解决类似问题。

据了解,美国的牧草品种审定基本是在各单位自行组织完成,例如美国诺贝研究所(Noble Research Institute)设置了一个名为品种和种质资源发布委员会(Cultivar and Germplasm Release Committee)的机构,只要育种家能够提供足够的数数据,主要是DUS方面数据,一般就可通过。所以,品种审定比国内容易,但人们更关心的是新品种是否能商业化,即这些DUS数据及田间实地考察是否能吸引公司感兴趣,从而愿意进行繁种、推广并利润分成。为了更好地商业化,人们一般会申请植物品种权保护(Plant Variety Protection, PVP),有效期一般为20年。

2021年10月起实施的《国家级稻品种审定标准(2021年修订)》《国家级玉米品种审定标准(2021年修订)》中,标准规定审定品种与已审定品种DNA指纹(简单序列重复(Single Sequence Repeat, SSR)分子标记)检测差异位点需大于或等于3个(稻)、4个(玉米);如果拟审定品种与已审定品种DNA指纹检测差异位数只有2个(稻)或3个(玉米),须通过田间种植鉴定证明其与已审定类似品种具有重要农艺性状差异。我国现行的《草品种审定技术规程》(GBT30395-2013)中对拟审定品种的DUS测试没有强制性要求。如表1所示,我国已经完成了25种草类植物的DUS测试指南,但很少涉及品种DNA指纹图谱,这些测试指南亟需修订,并构建和完善同一物种下所有已知品种的指纹图谱。另外,仍有大量的常见牧草DUS测试指南尚属空白,需要尽早制定。

牧草 DUS 测试目前以形态和系谱为主,未来将逐渐过渡到综合利用形态、系谱和分子标记的阶段,最后将发展为以高通量分子检测为主的阶段。分子标记也将从 SSR、SNP 过渡到低成本、高通量的芯片技术或全基因组重测序技术。这不但需要不同物种高质量基因组和泛基因组等数据的积累,还需要对物种功能位点特异性标记、品种特异指纹图谱、品种内单株间遗传差异、品种内单株的取样策略、最低分子标记数量和基因组覆盖度等做出判断。另外,随着底盘品种、基因编辑等概念和技术的发展,如何认定和保护这些实质性派生品种(Essentially Derived Variety)也需要进行技术研发^[23]。

3.5 “保、育、繁、推、管”推动牧草育种产业发展

在推动牧草育种产业的发展时,建议从“保、育、繁、推、管”五个方面制定政策性建议。在保种方面,政府加大财政支持,建立一个高效、全面的牧草种质资源和品种共享平台,加大对优良牧草种质资源和品种的保护和利用。在育种方面,鼓励创新技术在育种中的应用,同时简化品种审定登记流程,加快品种审批速度,以推动更多具有市场竞争力的品种上市。在繁种方面,政府加强与科研机构、企业合作,建立良种繁育基地,提高繁种效率和品质。推广方面,通过多方合作的宣传推广机制,提高优质牧草品种的认知度和接受度,建立品牌。监管方面,完善种子监管法律法规,加强市场监督管理力度,维护市场秩序,保护育种家和生产企业的合法权益。最终,政府部门、学校、科研单位和牧草企业应共同努力,开展“政产学研”深度合作,以推动牧草产业的健康发展^[24]。

致谢 感谢兰州大学罗栋博士和周强博士在牧草品种信息统计过程中的贡献。

参 考 文 献

- [1] 景海春,王台,林荣呈,等. 加强饲草基础生物学研究,保障饲草种业与国家大粮食安全. 植物学报, 2022, 57(6): 719—724.
- [2] 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.
- [3] Wang ZY, Brummer EC. Is genetic engineering ever going to take off in forage, turf and bioenergy crop breeding?. *Annals of Botany*, 2012, 110(6): 1317—1325.
- [4] Barros J, Temple S, Dixon RA. Development and commercialization of reduced lignin alfalfa. *Current Opinion in Biotechnology*, 2019, 56: 48—54.
- [5] 全国畜牧总站. 中国草种质资源重点保护名录. 北京: 中国农业出版社, 2017: 3—60.
- [6] 陈志宏,李新一,洪军. 我国草种质资源的保护现状、存在问题及建议. 草业科学, 2018, 35(1): 186—191.
- [7] 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.
- [8] Xu YB, Li P, Zou C, et al. Enhancing genetic gain in the era of molecular breeding. *Journal of Experimental Botany*, 2017, 68(11): 2641—2666.
- [9] Chand S, Indu, Singhal RK, et al. Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. *Grass and Forage Science*, 2022, 77(1): 11—32.
- [10] 金京波,王台,程佑发,等. 我国牧草育种现状与展望. 中国科学院院刊, 2021, 36(6): 660—665.
- [11] 谢华玲,杨艳萍,董瑜,等. 苜蓿国际发展态势分析. 植物学报, 2021, 56(6): 740—750.
- [12] Gilliland TJ, Annicchiarico P, Julier B, et al. A proposal for enhanced EU herbage VCU and DUS testing procedures. *Grass and Forage Science*, 2020, 75(3): 227—241.
- [13] Guan J, Zhang P, Huang Q, et al. SNP markers potential applied in DUS testing of maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2020, 23(2): 417—422.
- [14] 刘杰淋,刘凤歧,唐凤兰,等. 稗新品种 DUS 测试指南的研制. 北方园艺, 2015(14): 37—39.
- [15] 王建丽,申忠宝,潘多锋,等. 红三叶新品种 DUS 测试指南的研制. 北方园艺, 2014(15): 217—220.
- [16] 张一弓,张荟荟,杨刚,等. 披碱草属植物新品种特异性、一致性和稳定性测试. 草原与草坪, 2013, 33(2):38—40, 45.
- [17] 罗涵夫. 假俭草 DUS 测试指南研制及其抗寒生理特性的研究. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [18] 闵学阳,刘文献,王彦荣,等. 箭筈豌豆新品种 DUS 测试指南研制—测试性状评价和参照品种筛选. 草业学报, 2019, 28(11):133—146.
- [19] 单飞彪,闫文芝,杜瑞霞,等. 救荒野豌豆品种 DUS 测试指南研制. 中国种业, 2022(5): 16—20.
- [20] Shi SL, Nan LL, Smith K. The Current status, problems, and prospects of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding in China. *Agronomy*, 2017, 7(1): 1.
- [21] 洪军,苏红田. 我国牧草种质资源保护工作进展与发展思路. 植物学报, 2022, 57(6): 725—731.
- [22] Hao HQ, Li ZG, Leng CY, et al. *Sorghum* breeding in the genomic era: opportunities and challenges. *Theoretical and Applied Genetics*, 2021, 134(7): 1899—1924.
- [23] 徐云碧,王冰冰,张健,等. 应用分子标记技术改进作物品种保护和监管. 作物学报, 2022, 48(8): 1853—1870.
- [24] 林克剑,刘志鹏,罗栋,等. 饲草种质资源研究现状,存在问题与发展建议. 植物学报, 2023, 58(2): 241.

Progress and Existing Problems of Forage Breeding in China

Zhipeng Liu¹ Wenxian Liu¹ Qingchuan Yang² Bo Zhang³ Zengyu Wang⁴ Zhenfei Guo⁵
Chunxiang Fu⁶ Hao Lin⁷ Zhiqiang Zhang⁸ Linkai Huang⁹ Wenhui Liu¹⁰ Wengang Xie¹
Yanjun Miao¹¹ Jun Yin¹² Jiyu Zhang¹ Haichun Jing¹³ Zhibiao Nan¹ Kang Chong^{13*}

1. State Key Laboratory of Herbage Improvement and Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou 730020
2. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193
3. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052
4. College of Grassland Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109
5. College of Grassland Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095
6. Qingdao Engineering Research Center of Biomass Resources and Environment, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101
7. Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081
8. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018
9. College of Grassland Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 625014
10. Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Qinghai University, Xining, 810016
11. College of Plant Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000
12. Grassland Supervision and Management Station, Kunming 650224
13. Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100193

Abstract High-yielding, high-quality, and multi-resistant forage varieties are critical to ensuring the sustainable development of China's grassland industry, with significant implications for food security, ecological security, and rural revitalization. From 1987 to the end of 2022, the national government has approved 674 new grass varieties, and provincial governments in seven western provinces have approved 271. Additionally, 25 DUS testing guidelines have been established for grass species/genus. However, the development of forage breeding in China is still relatively weak in terms of germplasm resource collection, breeding methods, breeding direction, DUS testing, and resource sharing, severely hindering the progress of the grassland industry. This paper provides an overview of the approval process for forage varieties in China, examines the challenges associated with forage breeding, and proposes suggestions for promoting the development of high-yielding, high-quality, and multi-resistant forage varieties with independent intellectual property rights in the country.

Keywords forage; varieties; breeding; existing problems; proposal

(责任编辑 刘敏 张强)

* Corresponding Author, Email: chongk@ibcas.ac.cn