

· 专题论坛 ·

苜蓿国际发展态势分析

谢华玲¹, 杨艳萍^{1*}, 董瑜¹, 王台²

¹中国科学院文献情报中心, 北京 100190; ²中国科学院植物研究所, 北京 100093

摘要 苜蓿是草食动物的优质饲草, 被誉为“牧草之王”。发展苜蓿产业对提升我国草食畜牧业具有重要意义。该研究采用定性调研与定量分析相结合的方法, 从创新链角度, 研究了全球苜蓿科技产出、代表性国家苜蓿产业格局和全球苜蓿市场贸易等状况及我国苜蓿产业存在的问题, 旨在为我国苜蓿产业发展提供参考。分析发现, 美国是全球最重要的苜蓿生产国, 在苜蓿基础研究、技术开发、品种培育和商业化种植等方面均具有很强的优势, 引领了全球苜蓿产业的发展。欧美等跨国企业掌控着全球苜蓿产业链的各个关键环节, 是苜蓿产品的主要出口市场, 而亚洲苜蓿产品消费缺口最大。近10年来, 我国在苜蓿科技领域表现活跃, 科技成果产出呈快速增长趋势, 但在成果数量和影响力方面与欧美国家差距明显, 且苜蓿育种进程缓慢, 优质苜蓿产品对外依存度仍然较高。综合来看, 我国应持续加大苜蓿的研发力度和科技投入, 推进苜蓿产业化发展, 提升苜蓿产品的自给率, 保障草食畜牧业健康、稳定发展。

关键词 苜蓿, 科技产出, 产业格局, 市场贸易, 态势分析

谢华玲, 杨艳萍, 董瑜, 王台 (2021). 苜蓿国际发展态势分析. 植物学报 56, 740–750.

当前, 全球农业的首要任务是确保粮食安全。联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)发布的报告指出, 要在2050年养活全球91亿人口, 需将全球粮食产量提高约70% (FAO, 2009)。随着全球人口的不断增长和膳食结构的持续转变, 肉、蛋和奶等动物源食品逐渐成为粮食的重要组成部分, 人类对其需求也在快速增加。到2030年, 全球对动物源食品的需求可能比2005年增加70%, 牛肉、猪肉和禽肉的需求将分别增长66%、43%和121% (NAP, 2018); 全球人均新鲜乳制品消费量将增长1.0% (OECD, 2019)。以中国为首的亚太地区和以巴西为首的拉丁美洲与加勒比地区的发展中国家将是全球肉类和奶类产品的主要增长源; 到2030年, 发展中国家的肉类和奶类生产年增长率预计将分别达到2.4%和2.5% (Research and Markets, 2020)。

近年来, 我国食物消费结构不断优化。相比2013年, 2018年我国口粮人均年消费量下降了14%, 而

肉、蛋和奶等动物蛋白人均年消费量上升了4%–25%。不断增长的动物源食品需求将会推动我国畜牧业的发展。苜蓿因具有适应能力强、抗逆性好、产量高、营养丰富和适口性好等优良特性而成为奶牛等草食动物的优质饲草资源, 苜蓿产业的发展为我国奶业的转型升级提供了有力支撑。虽然我国已有两千多年的苜蓿种植历史, 但苜蓿产业发展远不及水稻(*Oryza sativa*)和小麦(*Triticum aestivum*)等主粮作物, 导致优质苜蓿对外依存度长期维持在约35%的水平。据美国农业部报告预测, 未来10年, 我国畜禽肉及饲料粮进口量还将持续攀升(USDA-ERS, 2021)。因此, 大力发展苜蓿产业是推动我国畜禽肉和饲草业自足的重要保障措施之一。

1 研究方法数据来源

本研究采用定性调研和定量分析相结合的方法, 从创新链角度, 对全球苜蓿科技产出、部分代表性国家和地区(与中国贸易关系较为密切的美国、澳大利亚

收稿日期: 2021-07-23; 接受日期: 2021-12-17

基金项目: 中国科学院科技服务网络计划“苜蓿分子选育与生态友好栽培关键共性技术研发”(No.KFJ-STZ-ZDTP-076)和中国科学院生命与健康重大创新领域战略规划研究(农业) (2021)

* 通讯作者。E-mail: yangyp@mail.las.ac.cn

和欧洲等)的苜蓿产业格局及全球苜蓿市场贸易状况进行分析解读,同时对对比分析了我国苜蓿产业存在的问题。

研究涉及的行业报告和产品等信息主要来自联合国粮食及农业组织、经济合作与发展组织、行业报告、各国农业部、机构和企业官方网站。行业统计数据主要来自美国农业部、联合国粮食及农业组织、世界贸易组织和国家统计局等机构网站。论文数据来自SCI (Web of Science)数据库,共获得被SCI数据库收录的论文20 400篇(检索时间为2021年5月)。专利数据来自DII (Derwent Innovation Index)和DI (Derwent Innovation)数据库,共获得被DII数据库收录的专利12 765项,扩展后获得被DI数据库收录的专利家族成员30 799件(检索时间为2021年6月)。

2 全球苜蓿科技产出分析

2.1 研究论文分析

2.1.1 主要国家分布

从苜蓿领域论文数量看(表1),美国的论文数量高达7 226篇,占全球苜蓿领域论文总量的35%,遥遥领先于其它国家,属于第1梯队;加拿大、中国、法国和澳大利亚4国的论文数量均在1 000篇以上,属于第2梯队;西班牙、意大利、英国、德国和新西兰等国家的论文数量介于340–700篇之间,属于第3梯队。

从苜蓿领域论文总被引频次看(表1),美国论文的总被引频次位居全球首位,与其论文数量排位一

致,均遥遥领先于其它国家。从苜蓿领域论文的篇均被引频次看,法国最高,为37.24次;美国为20.44次,排在第5位;中国为13.78次,排在末位,与其它国家存在较大差距。

从苜蓿领域论文发表时间看(表1),美国是全球最早开展苜蓿相关研究的国家;我国在20世纪80年代后才有相关论文发表,但作为后起之秀,发展快速。近5年,我国苜蓿领域论文数量占其论文总量的比例高达54%;同时,年发表苜蓿领域论文数量的全球占比也在逐年攀升。例如,2020年,年发表论文数量的全球占比高达38%,比2008年高出28%,表明近期我国在苜蓿领域的研究非常活跃。

从各国论文的学科领域分布来看(表1),苜蓿研究主要涉及植物科学,其次为农学或者生物化学与分子生物学等,表明各国更关注苜蓿育种以及农艺栽培相关研究。

2.1.2 主要研究机构分布

从论文数量来看(表2),苜蓿领域重要研究机构主要来自北美洲的美国和加拿大、欧洲的法国和亚洲的中国。其中,排名前4位均为科研机构,依次是美国农业部(2 029篇)、加拿大农业与农业食品部(1 111篇)、法国国家农业食品与环境研究院(793篇)和法国国家科学研究中心(654篇)。中国科学院以294篇的论文数量排在第9位。

从苜蓿领域论文的篇均被引频次看(表2),法国和美国机构的论文平均被引频次较高。其中,前3位

表1 苜蓿领域研究论文TOP10国家分布

Table 1 TOP 10 countries/regions of research papers in alfalfa field

论文数量 排名	国家	论文数量 (篇)	近5年发文 占比(%)	总被引频次 (次)	篇均被引频次 (次)	最早发文 时间(年)	主要学科领域
1	美国	7226	9	147681	20.44	1908	植物科学和农学
2	加拿大	1873	7	28766	15.36	1919	植物科学和农学
3	中国	1530	54	21078	13.78	1986	植物科学和农学
4	法国	1256	15	46770	37.24	1972	植物科学和生物化学与分子生物学
5	澳大利亚	1037	16	20759	20.02	1972	植物科学和农业多学科
6	西班牙	624	19	14810	23.73	1976	植物科学和农学
7	意大利	524	19	10367	19.78	1975	植物科学和农学
8	英国	455	16	13316	29.27	1957	植物科学和生物化学与分子生物学
9	德国	442	19	14909	33.73	1972	植物科学和生物化学与分子生物学
10	新西兰	343	19	5365	15.64	1972	农业多学科和农学

依次是法国国家科学研究中心(52.45次)、美国诺贝尔研究所(49.57次)和法国国家农业食品与环境研究院(40.10次)。中国科学院论文的篇均被引频次为20.55次, 高于美国农业部、加拿大农业与农业食品部和美国犹他州立大学, 表现较为突出。

从近5年苜蓿领域论文数量占本机构论文总量的比例来看(表2), 中国科学院论文占比高达49%, 表明该机构近5年在苜蓿领域研究较活跃; 美国诺贝尔研究所近5年的论文占比为23%, 活跃度也较高; 其余机构近5年论文占比均在20%以下。

从论文的学科领域分布看(表2), 各机构重点关注苜蓿育种和农艺栽培相关研究。此外, 中国科学院在环境科学领域(苜蓿的生态环境修复功能)及美国犹他州立大学在昆虫学领域(媒介昆虫为苜蓿授粉的研究)也有较多的研究成果产出。

2.2 专利分析

2.2.1 主要国家分布

从苜蓿领域专利技术来源国家看(表3), 中国专利数量高达6 861项, 占全球苜蓿领域专利申请总量的54%, 遥遥领先于其它国家, 属于第1梯队; 美国专利数量为2 762项, 全球占比为22%, 属于第2梯队; 德国、法

国、日本、俄罗斯、韩国、加拿大、瑞士和英国等国的专利数量介于90–500项之间, 属于第3梯队。

“平均专利家族大小”可以表征专利申请人对技术的保护力度。从苜蓿领域平均专利家族大小来看(表3), 德国的平均专利家族最大, 为6.6; 其次是英国, 为6.0; 中国排在末位, 仅为1.0。由此可见, 我国苜蓿领域专利的平均保护力度较弱。从苜蓿领域重要专利数量来看, 美国的重要专利数量最多, 为717件; 其次是德国(56件); 中国虽然专利申请数量众多, 但重要专利数量仅为27件。

从苜蓿领域专利公开国家看(表3), 中国和美国是受关注度较高的国家, 受理并公开的相关专利较多。其中, 中国相关专利公开数量为8 037件, 位居全球首位, 是全球最受关注的国家; 其次是美国, 其专利公开数量为5 070件; 澳大利亚位列第3, 其专利公开数量为1 847件。

2.2.2 主要申请机构分布

从专利申请数量来看(表4), 苜蓿领域专利申请机构主要来自美国、德国和中国。其中, 前3位均为国外跨国企业, 依次是美国科迪华农业科技(666项)、德国拜耳集团(395项)和德国巴斯夫集团(331项)。中国苜

表2 苜蓿领域研究论文TOP10机构分布

Table 2 TOP 10 research organizations of research papers in alfalfa field

论文数量排名	研究机构	论文数量(篇)	近5年发文占比(%)	总被引频次(次)	篇均被引频次(次)	机构类型	主要学科领域
1	美国农业部(Unted States Department of Agriculture)	2029	9	37351	18.41	科研院所	农学和植物科学
2	加拿大农业与农业食品部(Agriculture and Agri-Food Canada)	1111	8	14565	13.11	科研院所	农学和植物科学
3	法国国家农业食品与环境研究院(National Research Institute for Agriculture, Food and Environment)	793	16	31799	40.10	科研院所	植物科学和生物化学与分子生物学
4	法国国家科学研究中心(Centre National de la Recherche Scientifique)	654	17	34301	52.45	科研院所	植物科学和生物化学与分子生物学
5	美国加利福尼亚大学(University of California)	579	9	16466	28.44	大学	农学和植物科学
6	美国威斯康星大学(University of Wisconsin)	566	8	14928	26.37	大学	农学和植物科学
7	美国明尼苏达大学(University of Minnesota)	503	9	13665	27.17	大学	农学和植物科学
8	美国诺贝尔研究所(Noble Research Institute)	414	23	20520	49.57	科研院所	植物科学和生物化学与分子生物学
9	中国科学院(Chinese Academy of Sciences)	294	49	6041	20.55	科研院所	植物科学和环境科学
10	美国犹他州立大学(Utah State University)	283	9	3792	13.40	大学	昆虫学和农学

表3 苜蓿领域专利TOP10国家/地区分布

Table 3 TOP 10 countries/regions of the number of patents in alfalfa field

专利申请/公开数量排名	专利申请				专利公开	
	来源国*	申请数量(项)	平均专利家族大小	重要专利数量(件)**	公开国	公开数量(件)
1	中国	6861	1.0	27	中国	8037
2	美国	2762	4.4	717	美国	5070
3	德国	437	6.6	56	澳大利亚	1847
4	法国	246	3.7	11	加拿大	1434
5	日本	243	2.4	6	巴西	1110
6	俄罗斯	235	1.1	0	日本	1026
7	韩国	206	1.4	1	印度	795
8	加拿大	159	3.9	22	墨西哥	785
9	瑞士	104	5.1	23	韩国	558
10	英国	94	6.0	14	德国	541

*专利来源国指专利申请人所在国。**重要专利指与苜蓿领域其它专利相比, 某件专利的强度和重要性。本表仅统计“综合专利影响力”系数在10以上(范围1–100)的重要专利数量, 共计992件。数据来源于DI数据库。

*Patent source country refers to the countries where the patent applicants are located. **Important patent refers to the strength and importance of certain patent compared to other patents in the field of alfalfa. The table only counts the number of important patents with coefficient of ‘comprehensive patent influence’ is above 10 (range 1–100), totaling 992. The data are from the DI database.

苜蓿领域专利申请机构以科研院所和高校为主。其中, 中国农业科学院和中国科学院分别以229项和93项的申请数量排在第4和第7位, 中国农业大学和甘肃农业大学分列第9和第10位。中国化工集团(先正达)排第8位, 是唯一上榜的中国企业。

从平均专利家族大小来看(表4), 科迪华农业科技、拜耳集团和巴斯夫集团等企业苜蓿领域的平均专利家族大小在5.5以上, 说明这些企业的苜蓿领域专利保护力度较大, 重要专利较多。中国机构中, 除中国化工集团(6.8)外, 其余机构的平均专利家族大小均在2.0以下。可见, 中国机构苜蓿领域的专利保护力度不及国外企业。

从各申请机构的专利技术构成看(表4), 国外跨国企业、中国化工集团和中国科学院等机构苜蓿领域的专利内容更侧重育种技术研发; 中国农业科学院与中国农业大学以育种技术和栽培技术并重; 甘肃农业大学则更侧重栽培和饲料加工技术。

2.3 苜蓿品种研发分析

近年来, 苜蓿育种已实现从专门针对某一抗性到多种抗性、从单纯注重产量到产量与品质并重的转变。除利用常规育种技术进行苜蓿育种外, 生物技术也不断

被引入苜蓿育种工作中, 并取得了诸多突破。

常规技术育成品种仍占主体。根据美国国家苜蓿和牧草联盟(National Alfalfa and Forage Alliance, NAFA)苜蓿品种等级评定数据库, 苜蓿品种评定包括冬季存活率、抗病性、抗虫性、持久性、耐牧性和耐盐性等性状类别, 共计19个参数(NAFA, 2021)。其中, 杂交育种和选择育种等常规技术仍是主要技术手段。例如, 在NAFA发布的2021年苜蓿品种等级评定结果中, 16家企业的178个品种中常规育种技术品种达到128个, 占72%。从种植情况看, 常规技术育成品种仍是种植主体, 种植面积占全球种植总面积的95%以上(ISAAA, 2021)。

转基因苜蓿品种研发稳步推进。转基因技术的主要目的是改善生物的原有性状或赋予其新的优良性状。目前, 转基因苜蓿商业化性状主要是除草剂耐受性、抗生素耐药性和低木质素含量。其中, 除草剂耐受性是应用最多的性状(表5)。根据ISAAA (The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)网站数据, 全球共有5例苜蓿转基因事件获批, 涉及的商品名称分别为抗草甘膦苜蓿(Roundup Ready™ Alfalfa)以及低木质素苜蓿(HarvXtra™) (KK179), 育成机构均来自美国。其中,

表4 苜蓿领域TOP10专利申请机构分布

Table 4 TOP 10 patent applicant organizations in alfalfa field

专利申请数量排名	专利申请机构	专利申请数量(项)	平均专利家族大小	机构类型	主要技术构成
1	美国科迪华农业科技(Corteva Inc)	666	5.5	企业	C12N, A01H
2	德国拜耳集团(Bayer AG)	395	6.0	企业	C12N, A01H
3	德国巴斯夫集团(Basf SE)	331	7.8	企业	C12N, A01H
4	中国农业科学院(Chinese Academy of Agricultural Sciences)	229	1.0	科研院所	C12N, A01G
5	美国杜邦公司(Du Pont Co Ltd)	222	5.0	企业	C12N, A01H
6	美国蓝多湖公司(Land O'Lake Inc)	119	2.6	企业	A01H, C12N
7	中国科学院(Chinese Academy of Sciences)	93	1.5	科研院所	C12N, A01H
8	中国化工集团(先正达) (China National Chemical Corporation (Syngenta))	81	6.8	企业	C12N, A01H
9	中国农业大学(China Agricultural University)	65	1.8	高校	C12N, A01C
10	甘肃农业大学(Gansu Agricultural University)	53	1.2	高校	A01G, A23K

A01C: 种植、施肥相关; A01G: 园艺、栽培相关; A01H, C12N: 育种相关; A23K: 饲料相关

A01C: Planting and fertilization; A01G: Horticulture and cultivation; A01H, C12N: Breeding; A23K: Feed

表5 苜蓿转基因事件

Table 5 Alfalfa genetically-modified events

转基因事件	商品名称	育成机构	性状导入方法	转基因特性	授权国家
名称: J101 代码: MON-ØØ1Ø1-8	Roundup Ready™ Alfalfa	孟山都公司和国际遗传学公司	农杆菌介导的植物转化	除草剂耐受性	美国、加拿大、墨西哥、日本、菲律宾、澳大利亚、新西兰、韩国和新加坡
名称: J101 x J163 代码: MON-ØØ1Ø1-8 x MON-ØØ163-7	Roundup Ready™ Alfalfa	孟山都公司和国际遗传学公司	常规育种	除草剂耐受性	日本、韩国和墨西哥
名称: J163 代码: MON-ØØ163-7	Roundup Ready™ Alfalfa	孟山都公司和国际遗传学公司	农杆菌介导的植物转化	除草剂耐受性	美国、加拿大、墨西哥、日本、菲律宾、澳大利亚、新西兰、韩国和新加坡
名称: KK179 代码: MON-ØØ179-5	HarvXtra™	孟山都公司和国际遗传学公司	农杆菌介导的植物转化	抗生素耐药性和低木质素含量	美国、加拿大、澳大利亚、新西兰、墨西哥、日本、韩国、新加坡和菲律宾
名称: KK179 x J101 代码: MON-ØØ179-5 x MON-ØØ1Ø1-8	无	孟山都公司	常规育种	除草剂耐受性、抗生素耐药性和低木质素含量	墨西哥、日本、韩国、阿根廷和菲律宾

抗草甘膦苜蓿具有抗倒伏和控制杂草的特点,进而提高产量潜力和饲草品质;低木质素苜蓿含有较低的木质素和较高的可消化纤维,可以使饲草品质提高15%–20% (Successful Farming, 2020)。这些商业化品种已在全球多个国家获得授权(ISAAA, 2021)。近年来,全球转基因苜蓿种植面积呈逐年上升的趋势(ISAAA, 2020), 2019年达到 1.30×10^6 hm², 主要种植国为美国。2019年美国转基因苜蓿种植面积高达 1.28×10^6 hm², 全球占比超过98%, 占美国当年苜蓿收获面积的19%, 比2013年提高6% (USDA-ERS, 2016)。

基因编辑苜蓿品种研发取得重要突破。近年来,有望创造突破性性状的基因编辑技术愈发受到育种家的青睐。2017年,美国S&W Seed和Calyxt公司联合开发的基因编辑苜蓿品种获得美国农业部监管豁免(S&W, 2017), 成为全球苜蓿产品中首个获得豁免的基因编辑产品。该产品采用Calyxt专有的基因编辑技术TALEN, 使木质素生物合成途径中的1个基因失活以降低木质素含量, 从而提高消化率, 改善苜蓿品质。此外, 美国诺贝尔研究所也正在开展基因编辑苜蓿品种研发。基因编辑技术有望为饲料行业创制更高品质的苜蓿新种质。

3 代表性国家和地区苜蓿产业格局分析

当前,从技术创新和产业发展角度看,美国、澳大利亚和欧洲等部分国家和地区引领全球苜蓿产业的发展,并已形成育种与制种、种植与收获及加工与消费的完整产业链条。其中,企业掌控产业链的各主要环节,在苜蓿生产中发挥关键作用(图1)。

商业育种主体以企业为主导。20世纪前期,美国和澳大利亚等国家苜蓿育种工作主要由公共部门或高校完成,如美国农业部、加州大学和澳大利亚州政府部门。20世纪60年代,孟山都、陶氏和先锋等公司开始收购从事农作物培育的种子公司,逐渐成为苜蓿品种的研发主体,并形成了各自发展特色(表6)。进入21世纪,大型种子企业兼收并购频繁。与此同时,作为大公司种子生产替补型的小微企业发展快速,进一步巩固了以企业为主导的育种格局,公共机构则逐渐转向基础研究或开展商业前研究。例如,美国科迪华农业科技(Corteva Inc)等大型企业主要通过兼收并购等方式进行全产业链布局(繁育、制种和分销一体化),培育优质高产的苜蓿品种; Dairyland Seed和

Alforex Seed等小微企业则主打苜蓿专用品种或特定抗性品种,以形成优势互补。企业之间还订立了技术或产品的交叉许可协议,极大提升了美国苜蓿产品的全球竞争力。如今,在苜蓿产业链上游的育种环节,美国科迪华农业科技、美国国际牧草遗传有限责任公司(Forage Genetics International)和德国拜耳集团(Bayer AG)等企业占据了制高点,培育出大量抗性或专用品种,实现了对苜蓿种业的垄断。

跨国合作制育种成为新常态。美国和澳大利亚等国家苜蓿育种十分注重研发合作和品种许可。南澳大利亚研究与发展研究院与美国部分拥有育种项目的高校长期保持密切联系;同时,美澳之间的许多育种企业也通过股权或许可协议保持密切关系,以互换或获得某些育种种质材料。此外,国际苜蓿制种企业还与适宜苜蓿生长的南澳大利亚东南部的苜蓿种子生产企业合作,开展跨国制种。例如,由于南澳大利亚东南部与美国加利福尼亚州帝国谷的气候相似,一些美国苜蓿种子企业与澳大利亚当地种子企业签订合同,生产与帝国谷具有相同休眠期的苜蓿种子,生



图1 部分代表性国家苜蓿产业链全景图

Figure 1 Alfalfa industry chain in some representative countries

表6 美国部分代表性苜蓿种子企业

Table 6 Representative enterprises of alfalfa seed in the United States

企业名称及主要隶属机构		企业特色	品种特性	休眠级别
科迪华农业科技	Pioneer	科迪华全球旗舰品牌。拥有多款HarvXtra with RoundupReady组合性状转基因苜蓿品种	高产、抗病虫害、抗除草剂和低木质素	3-5
	Dairyland Seed	科迪华中北部区域品牌。最早引入雄性不育系杂交技术msSunstra	高度易消化、抗病虫害、耐盐和专用品种	4-9
	Alforex Seeds	科迪华中西部区域品牌。引入Hi-Gest技术，投放业内首款高度易消化非转基因苜蓿	高度易消化、抗病虫害、耐盐和专用品种	3-10
S&W Seed		拥有业内首款免监管基因组编辑苜蓿产品	抗病虫害、耐盐和低木质素	4-10
国际牧草遗传有限责任公司		与孟山都公司合作开发的转基因苜蓿最早实现商业化	抗除草剂和低木质素	2-11
诺贝尔研究所		蒺藜苜蓿(Medicago truncatula)基因组研究处于国际领先水平。	正在开展基因编辑苜蓿品种研发	

数据来源于NAFA和各企业网站。The data are from NAFA and enterprise websites.

产的种子既可在美国分销，也可直接运往其它出口市场(AgriFutures, 2017)。

跨国农化和农机巨头掌控苜蓿生产管理环节。在苜蓿产业链的中游(种植和收获环节)，美国科迪华农业科技、德国拜耳公司、德国巴斯夫集团(Basf SE)和中国化工集团旗下先正达集团(Syngenta)等企业主控了相关的农化产品。该四大农化巨头占据全球50%的终端制剂市场份额。美国约翰迪尔(John Deere)、美国麦克唐(MacDon)以及欧洲凯斯纽荷兰(CNH industrial)等企业则布局智能农机产品，如约翰迪尔的自走式割草压扁机、麦克唐的自走式割晒机以及纽荷兰的拖拉机、大方捆打捆机和自走式割草压扁机。其中，纽荷兰的大方捆打捆机技术领先全球30多年，改变了世界各地的打捆作业。

下游生产加工方面，重视全产业链业务布局，通常集多种功能(种植/收储、加工与贸易)于一体。国外多数苜蓿企业建有种植基地和加工厂，甚至拥有研发实验室和物流体系等，有效保障了其业务的稳定运行。例如，西班牙纳佛萨(Nafosa)草业公司是欧洲最大的苜蓿生产、制造和出口企业，该公司80%的苜蓿产量来源于自有田地，拥有4家西班牙加工厂，1家阿根廷加工厂，可全年供应苜蓿。该企业不仅拥有研发团队、牧草种植基地、配套工厂车间、实验室和物流体系，还与第三方研发团队合作改善苜蓿品质，以最大程度地保障其牧草供应链的完整性和连续性。

消费方面，苜蓿产品用途不断拓展。全球苜蓿产品用途由饲草料向环保和农食增值产品方向不断拓展。除作为重要饲草作物外，近年来，科研人员还在

不断拓展苜蓿的研究领域，开发苜蓿新用途，包括景观植物、根瘤固氮与土壤修复植物、工业生物质原料和功能食品组分(USDA-ARS, 2013; NAFA, 2020; 刘承武和赵忠, 2020)。例如，美国农业部农业研究局《美国苜蓿研究路线图》(2013年)曾明确提出要开展苜蓿茎和叶的分离研究，将高蛋白叶片用于生产饲料和功能食品组分，将高纤维茎秆用于生产生物燃料。美国GNC、Nature's Way和NOW等企业已推出多款全球知名的苜蓿膳食营养补充剂，欧洲Luzixine和RuBisCo等品牌苜蓿蛋白产品也广受欢迎。

4 全球苜蓿市场贸易分析

北美洲苜蓿种植面积占各大洲首位，中国苜蓿产业发展迅速。苜蓿喜温暖气候，在北半球大致成带状分布，美国、加拿大、意大利、法国、西班牙、俄罗斯南部和中国是苜蓿主产区；南半球只有部分国家有较大规模种植，如阿根廷、智利、南非、澳大利亚和新西兰(Feedipedia, 2000)。2014年，全球苜蓿种植面积约为 2.380×10^7 hm²，苜蓿草产量达 3.41×10^8 t。此时，中国已成为全球仅次于美国的第2大苜蓿种植国，种植面积占全球种植总面积的15%，阿根廷、俄罗斯、意大利、加拿大、法国、澳大利亚、匈牙利和保加利亚依次占据第3–10的位置(产业信息网, 2016)。

美国和西班牙主导全球苜蓿产品卖方市场。美国是全球最大的苜蓿生产国和出口国。美国苜蓿种植面积约占全球苜蓿总种植面积的三分之一，产量居全球首位。2019年，美国苜蓿种植面积约为 6.78×10^6 hm²，

产量约为 5.487×10^7 t (USDA-NASS, 2020), 出口量约为 2.685×10^6 t (Progressive Dairy, 2020), 主要出口到中国、日本、韩国和中东等国家和地区; 其中, 中国对美国苜蓿的进口量和进口额分别为 1.015×10^6 t 和 3.55×10^8 美元(荷斯坦, 2020)。细分市场方面, 西班牙是全球最大的苜蓿粗粉与颗粒产品出口国, 2019年出口总量为 2.38×10^5 t。

日本、中国和阿联酋是苜蓿产品的主要买方市场。亚洲是全球苜蓿消费需求缺口最大的地区。2017年, 全球苜蓿产品国际贸易量为 8.30×10^6 t, 贸易总额约为 2.3×10^9 美元。日本是全球最大的苜蓿进口国, 进口量占全球苜蓿进口总量的26%, 达 2.16×10^6 t; 其次是中国, 进口量占全球进口总量的23%, 为 1.90×10^6 t。细分市场方面, 2019年, 全球苜蓿粗粉与颗粒产品进口量为 2.216×10^6 t。其中, 阿联酋进口量最大, 达 1.356×10^6 t; 中国进口量为 5.4×10^4 t, 处于全球第7位。

5 我国苜蓿产业存在的问题

中国是全球最重要的苜蓿种质资源发源地和苜蓿草生产国, 近年来苜蓿产业发展快速。但与国际苜蓿产业发达国家相比, 我国苜蓿产业发展仍然存在诸多问题。

科技支撑产业发展力度较弱。我国苜蓿科研工作起步较晚, 直到20世纪80年代才呈现规模化发展趋势, 与全球相差了半个多世纪。2008年, 受“三聚氰胺”事件影响, 政府部门重新布局苜蓿产业, 此后, 苜蓿领域研究进展加快。基础研究方面, 我国近年表现活跃, 主要研究机构与欧美类似, 均以科研院所和高校为主(表2); 技术研发方面, 我国相关专利的申请速度较快, 数量已位列全球首位。但在论文影响力、重要专利数量和平均专利保护范围等方面均远不及美欧国家。此外, 我国苜蓿专利主要来源于公共部门, 而美欧国家专利主要以企业申请为主(表4)。因此, 我国苜蓿基础研究和技术应用与美欧国家相比还有一定差距, 科技对产品开发和市场应用的支撑力度有待加强, 企业的科研实力有待提升。

苜蓿育种速度较慢, 且以常规种为主。中国现代意义上的苜蓿育种工作始于20世纪50年代, 80年代广泛开展。1978–2010年, 中国审定登记的苜蓿属育

成品种有34个(杨青川, 2012), 2018年达到94个(Lu, 2018)。长期以来, 我国高度重视苜蓿种质资源研究, 已建立3个牧草资源库, 收集和保存3 000多份苜蓿种质资源, 其中三分之一以上的种质资源已通过遗传评价(Lu, 2018)。但相比美国, 中国苜蓿育种工作起步较晚且发展缓慢, 新品种育成速度远低于美国每年50–90个育成数量。在中国登记的育成品种中, 选育类型以抗寒、高产、耐盐、耐牧根蘖型和抗病等为主。育种方法包括选择育种、杂交育种、雄性不育系育种、生物技术辅助育种和航天育种等。目前, 中国登记的育成品种中尚未见单纯应用生物技术育成的品种, 育种技术还停留在以杂交选育为主的“2.0时代”(金京波, 2021)。

苜蓿主产区单产水平较低。西北地区是我国苜蓿种植面积最大和产量最高的主产区域。2017年, 全国苜蓿的种植面积约为 4.70×10^6 hm^2 , 产量约为 2.933×10^7 t。其中, 西北部新疆、甘肃和陕西3省的苜蓿种植面积分列全国前3位, 依次占全国苜蓿总种植面积的22%、21%和15%; 3省苜蓿产量占全国苜蓿总产量的58%, 各自占比依次为20%、22%以及15%。但是西北地区的苜蓿单产水平整体不高, 介于 6×10^3 – 9×10^3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间, 与全国的平均单产水平(7.065×10^3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)基本持平, 显著低于湖南、湖北和四川等省, 湖南、湖北和四川的苜蓿单产水平平均超过 1.5×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (全国畜牧总站, 2018)。相对而言, 西北地区各省份的苜蓿单产水平还有较大的上升空间。

苜蓿生产机械化水平不高。我国农机整体装备技术水平与全球农机强国相比, 还存在至少30年以上的差距(罗锡文, 2019)。其中, 我国牧草播种机械的种类、功能和技术性能与国外同类产品相比差距较大。例如, 我国牧草播种机的排种器和开沟器功能还不够先进, 导致开沟深度的一致性、播种量或播种均匀性等不易控制。收获机械方面, 牧草机械化收获与人工收获相比可提高劳动生产率25–50倍, 降低作业成本40%–60%, 减少牧草营养损失60%–80%, 提高牧草产量, 同时利于牧草的安全储存和次年再生(刘晶, 2020)。但我国割草机和搂草机保有量仅为美国的1%, 刈割压扁和打捆等核心技术还需要从国外引进(金娟, 2021)。

长期以来优质苜蓿对外依存度较高。我国优质苜蓿的进口量从2008年的 1.9×10^4 t增长至2017年的

1.399×10⁶ t, 增长了68.9倍; 而我国优质苜蓿产量从2008年的1.5×10⁵ t增至2017年的2.50×10⁶ t, 仅增长15.7倍。据预测, 到2030年, 我国优质苜蓿消费量将达到6.00×10⁶ t。虽然我国苜蓿产业发展迅猛, 但产量增速远低于进口增速, 导致国内苜蓿对外依存度长期维持在高位(约35%)水平。从进口来源看, 我国苜蓿草产品主要进口自美国(84%)、西班牙(12%)、加拿大和苏丹等国; 苜蓿粗粉与颗粒细分产品主要进口自西班牙(99%)、墨西哥和美国等国。此外, 我国苜蓿用种量的80%以上依赖进口, 主要源自于加拿大(92%)、澳大利亚、意大利和法国。进口国来源过于集中, 不利于特殊时期的风险规避。

6 结论与启示

苜蓿在全球各国畜牧业健康稳定发展中发挥至关重要的作用。欧美等草牧业发达国家高度重视苜蓿产业的发展, 早在20世纪50年代前后就已完成了苜蓿产业化, 包括形成完整的产业链条, 主导了全球苜蓿产品市场, 同时企业作为创新主体掌控了产业链的各个核心环节。我国在苜蓿科技产出、产业化和市场竞争等方面均与草牧业发达国家存在一定差距。未来应从以下几个方面加强布局, 以更快更好地推动我国苜蓿产业的发展。

加大苜蓿研发科技投入力度。苜蓿是全球最重要的饲草作物, 长期以来其科技创新与发展备受各国关注。美欧等国家在苜蓿科技领域研究布局较早, 技术积累相对较多, 我国等后发国家可学习其先进技术, 为加速本国苜蓿科技发展提供借鉴。同时, 国家应进一步加大苜蓿科研投入力度。围绕苜蓿生产提质增效和全程机械化发展, 在国家重点研发计划和国家自然科学基金等国家科技项目中, 持续设立一批重点科研专项, 加大对苜蓿领域的科研经费投入和稳定支持力度, 缩小与玉米(*Zea mays*)和大豆(*Glycine max*)等饲料粮的资助经费差距, 吸引研究人员进入并深耕苜蓿领域, 提升科技对产业发展的支撑能力。

加强苜蓿育种关键技术攻关。当前全球苜蓿主栽品种及主要农艺性状依然通过常规育种技术获得或提高, 以转基因和基因编辑为代表的生物技术虽然加速了全球苜蓿育种进程, 但仍是重要的辅助手段。美国苜蓿育种技术全球领先, 澳大利亚拥有条件优越的

制种基地。我国苜蓿种质资源丰富, 应采用多种遗传资源和多学科手段构建现代高效苜蓿育种技术体系, 以培育优质生物学性状新品种, 或有针对性地改良我国现有主栽品种的单产水平、抗性和品质, 降低环境负荷。同时, 应加强国际合作, 借助国际优异种质资源、先进技术、育种平台或制种基地, 培育适宜我国不同地域条件的高产优质苜蓿新品种, 加快我国苜蓿育种进程。

打造苜蓿完整产业链条。美欧等发达国家的苜蓿产业化起步较早, 产业体系完备, 产、学和研分工明确。目前已全面进入以企业为主导的商业育种模式, 同时大型苜蓿生产企业重视全产业链业务布局。我国应围绕国家重大需求, 引导各创新主体明确自身定位和优势, 打造苜蓿完整产业链条。同时, 加快苜蓿产业链各环节的研发布局, 整合优势研发力量, 建立高效、协作与竞争并存的团队攻关模式; 鼓励企业在产业链中进行跨环节布局或与其它机构协同形成贯穿完整产业链的研发活动, 提升我国苜蓿产业的整体竞争力。此外, 国家应拓展苜蓿产品的多元进口来源, 降低来源过于集中和贸易不确定性带来的风险。

参考文献

- 产业信息网 (2016). 2016年中国苜蓿草行业市场规模运行回顾及发展前景趋势分析预测. <https://www.chyxx.com/industry/201609/449392.html>. 2020-12-30.
- 荷兰斯坦 (2020). 进口苜蓿: 2019全年135.6万吨同比持平. http://www.dairyfarmer.com.cn/nnyw_xjxm/2020-02-07/327363.chtml. 2021-03-15.
- 金京波, 王台, 程佑发, 王雷, 张景昱, 景海春, 种康 (2021). 我国牧草育种现状与展望. 中国科学院院刊 36, 660–665.
- 金娟 (2021). 牧草机械化黄金期来临 产业链受考验. 中国农机化导报 2021-08-23.
- 刘承武, 赵忠 (2020). 豆科植物SHR-SCR模块——根瘤“奠基细胞”的命运推手. 植物学报 55, 661–665.
- 刘晶 (2020). 牧草种植及生产机械化技术. 农业工程 10(3), 21–23.
- 罗锡文 (2019). 对我国农业机械化科技创新的思考. 农机科技推广 (2), 4–7.
- 全国畜牧总站 (2018). 中国草业统计2017. 北京: 中国农业出版社. pp. 62–63.

- 杨青川 (2012). 苜蓿种植区划及品种指南. 北京: 中国农业大学出版社. pp. 3.
- Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture (USDA-ARS)** (2013). Roadmap for alfalfa research. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50901500/pdf/s/AlfalfaRoadMap.pdf>. 2020-08-15.
- AgriFutures** (2017). Towards a sustainable Australian temperate pasture legume planting seed market: the Australian lucerne seed industry. <https://www.agrifutures.com.au/product/towards-a-sustainable-australian-temperate-pasture-legume-planting-seed-market/#:~:text=Towards%20a%20sustainable%20Australian%20temperate%20pasture%20legume%20planting,in%20research%2C%20development%20%26%20extension%2C%20best-practice%20production%20>. 2021-04-15.
- Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture (USDA-ERS)** (2016). The adoption of genetically engineered alfalfa, canola, and sugarbeets in the United States. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=81175#:~:text=The%20Adoption%20of%20Genetically%20Engineered%20Alfalfa%2C%20Canola%20and,adoption%20rates%2C%20and%20the%20economic%20impacts%20of%20adoption>. 2020-09-01.
- Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture (USDA-ERS)** (2021). USDA agricultural projections to 2030. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=100525>. 2021-02-23.
- Feedipedia** (2000). Alfalfa regional output. <https://www.feedipedia.org/content/alfalfa-regional-output-2000>. 2021-06-05.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** (2009). Global agriculture towards 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HL-EF2050_Global_Agriculture.pdf. 2021-02-17.
- Lu XS** (2018). Alfalfa improvement in China. In: Proceedings of the Second World Alfalfa Congress: Global Interaction for Alfalfa Innovation. Cordoba, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 19.
- National Agricultural Statistics Service, U.S. Department of Agriculture (USDA-NASS)** (2020). Agricultural statistics 2020. https://downloads.usda.library.cornell.edu/usdaesmis/files/j3860694x/z890sn81j/cv43pq78m/Ag_Stats_2020_Complete_Publication.pdf. 2021-05-23.
- National Alfalfa & Forage Alliance (NAFA)** (2020). One of the nation's most regenerative crops is also nation's 3rd most valuable field crop. https://www.alfalfa.org/pdfMedia/3rd_Most_Valuable_2020.pdf. 2021-03-26.
- National Alfalfa & Forage Alliance (NAFA)** (2021). Alfalfa variety ratings 2021. https://www.alfalfa.org/pdf/2021_Alalfa_Variety_Leaflet.pdf. 2021-03-26.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)** (2019). OECD-FAO agricultural outlook 2019–2028. <https://www.oecd.org/agriculture/oecd-fao-agricultural-outlook-2019/>. 2021-04-30.
- Progressive Dairy** (2020). 2019 dairy exports at 5-year high; alfalfa hay exports set record. <https://www.progressivedairy.com/news/industry-news/2019-dairy-exports-at-5-year-high-alfalfa-hay-exports-set-record>. 2021-03-25.
- Research and Markets** (2020). Alfalfa hay market: growth, trends, and forecast (2020–2025). <https://www.researchandmarkets.com/reports/4520188/alfalfa-hay-market-growth-trends-and-forecast#pos-3>. 2021-03-25.
- S&W Seed Company (S&W)** (2017). Improved quality alfalfa product candidate represents sixth product from Calyxt to be confirmed as non-regulated. <http://swseedco.com/press-release/calyxt-and-sws-gene-edited-alfalfa-plant-designated-as-non-regulated-by-usda/>. 2020-10-10.
- Successful Farming** (2020). Advances in alfalfa genetics. <https://www.agriculture.com/crops/advances-in-alfalfa-genetics>. 2021-03-25.
- The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)** (2020). Biotech crops drive socio-economic development and sustainable environment in the new frontier. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>. 2021-06-30.
- The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)** (2021). Alfalfa (*Medicago sativa*) GM events (5 events). <https://www.isaaa.org/gmap-provaldatabase/crop/default.asp?CropID=1&Crop=Alfalfa>. 2021-06-30.
- The National Academies Press (NAP)** (2018). Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030. <https://www.nap.edu/read/25059/chapter/1>. 2018-12-15.

Analysis on International Development Trends of Alfalfa

Hualing Xie¹, Yanping Yang^{1*}, Yu Dong¹, Tai Wang²

¹National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

²Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract Known as the 'king of forage crops', alfalfa is an important high-quality forage for dairy cattle and other herbivores. It is of great significance to improve China's grass products and livestock products. In order to provide decision-making reference for China's alfalfa industry, this work analyzed the scientific and technological output, industrial patterns and market trade of the global alfalfa from the perspective of innovation chain, as well as the problems present in China's alfalfa industry by qualitative and quantitative evaluation. The United States of American (USA) is the most important alfalfa producer around the world, and has strong competitive advantages in basic research, technology development, variety breeding and commercial planting of alfalfa, and leads the development of global alfalfa industry. The international multinational enterprises of Europe and USA hold the key industry chains of global alfalfa, which are the major export markets of alfalfa, while Asia has the largest consumption gap of alfalfa products. Although China has become active in the field of alfalfa R&D recently, it has still a significant gap with USA and European countries in terms of the quantity and influence of achievements in scientific research on alfalfa, the progress of alfalfa breeding is slow, and high dependence of high-quality alfalfa products on external factors. Therefore, China needs continue to increase investment in alfalfa R&D, and further promotes the industrialized development of alfalfa, so as to steadily improve the self-sufficiency rate of alfalfa products and ensure the healthy and stable development of animal husbandry.

Key words alfalfa, scientific and technical output, industrial pattern, market trade, trend analysis

Xie HL, Yang YP, Dong Y, Wang T (2021). Analysis on international development trends of alfalfa. *Chin Bull Bot* **56**, 740–750.

* Author for correspondence. E-mail: yangyp@mail.las.ac.cn

(责任编辑: 孙冬花)