

通过数据透视国内外兽药研发现状与趋势

董艳娇¹, 王建华², 李天泉³, 马永生¹

(1. 甘肃民族师范学院化学与生命科学系, 甘肃 合作 747000; 2. 重庆大学生物工程学院, 重庆 400000; 3. 重庆康洲大数据有限公司, 重庆 401336)

摘要: 兽药被广泛应用于防治动物疾病。提高养殖效益, 保障动物健康、畜产品质量安全是畜牧业健康、稳定、可持续发展的必然需要。为了更好地规划兽药企业发展和为畜牧养殖提供有效服务, 整理了近年国内外兽药产业发展的相关数据信息, 透视兽药发展现状和发展趋势。结果表明: 尽管兽药产业的发展仍存在不足, 但整体发展趋势为兽药市场持续扩容, 兽药产品逐渐多样化, 兽药企业不断趋于集中化且发展逐渐注重创新, 增加研发投入。说明兽药产业必须要结合行业动态, 整合资源, 改进不足, 才能稳步发展。

关键词: 数据; 透视; 兽药; 发展

中图分类号: S859.79

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)06-0134-07

Data Perspective on the Development of Current Situation and Trend of Veterinary Drug at Home and Abroad

DONG Yanjiao¹, WANG Jianhua², LI Tianquan³, MA Yongsheng¹

(1. Department of Chemistry and Life Science, Gansu Normal University for Nationalities, Hezuo 747000; 2. Bioengineering College, Chongqing University, Chongqing 400000; 3. Chongqing Kangzhou Big Data Co., Ltd., Chongqing 401336, China)

Abstract: Veterinary drugs are widely used to control animal diseases, to improve Breeding benefits, to guarantee animal health and the quality and safety of animal product, that are essential for the sustainable development of animal husbandry. In order to better plan the development of veterinary drug companies and provide effective services for animal husbandry, the relevant data information of the development of veterinary drugs industry at home and abroad in recent years has been compiled to observe the development status and development trend of veterinary drugs. The results show that although the development of veterinary drug industry still has some shortcomings, the overall development trend is that the veterinary drug market continues to expand, veterinary drug products are gradually diversified, veterinary drug companies are becoming more concentrated and gradually focusing on innovation, increasing R&D investment. The veterinary drug industry must combine industry dynamics, integrate resources, and improve the deficiencies for development steadily,

Key words: Data; Perspective; Veterinary drugs; Development

随着全球养殖业不断向规模化、标准化养殖转变和人们对畜产品需求的日益增加, 动物生产性能、动物疾病防治、畜食品安全也备受关注, 这不仅推动着兽药产业的发展同时也对其提出了更高的要求。兽药企业如何规划发展和更好地为畜牧产业提供优质服务是其能否生存的关键。本文通过整理中国兽药信息网、中国兽药协会、中国

畜牧网和部分医药产业数据库的信息, 透视兽药发展存在的问题和发展趋势, 并提出相应的对策。本文作为了解兽药企业发展方向的参考依据, 以期促使兽药企业为畜牧产业提供更高效服务。

1 全球动保市场发展现状

1.1 全球动保市场产能、规模概况

近年来, 在全球人口及其对食物需求的持续增长驱动下, 全球动保市场总体呈现上升态势。据袁宗辉^[1]研究, 2010~2017年, 全球动保市场的销售额每年不同程度地增加, 由2010年的1945亿

收稿日期: 2020-04-28

基金项目: 甘肃省教育厅“创新能力提升基金项目”(2020A-137)

作者简介: 董艳娇(1982-), 女, 副教授, 硕士, 主要从事动物疫病防治及其药物研究。

元增长至2017年的近3788亿元。年增长率在7.72%~14.91%，呈波动状态，其中2011年最高，后减缓，至2017年为9.1%，年均复合增长率为10%（图1）。依前瞻产业研究院预计，2017~2022年，

全球兽药市场规模将以7.3%左右的年均增长率增加，以此推算至2022年，全球兽药市场规模将达5372亿元，全球兽药行业市场规模稳步增长。

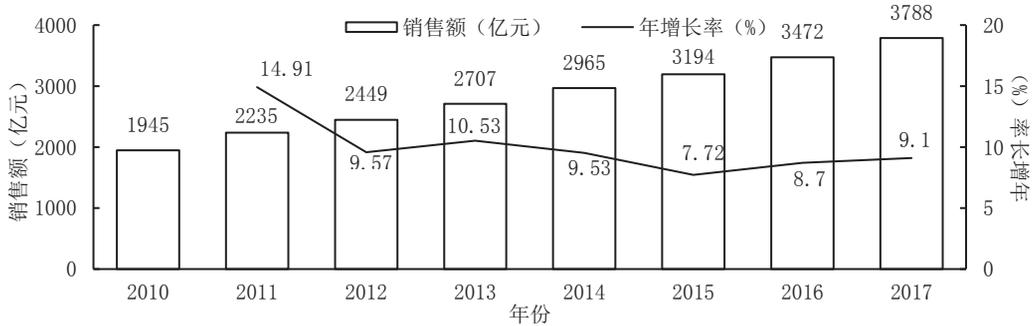


图1 2010~2017年全球兽药市场规模及增长率

1.2 全球动保市场的产业结构特点

目前，全球动保市场欧美地区占主要份额，拥有近78%的市场，美洲占近50%，拉丁美洲和远东地区增长也较快。随着国际兽药市场的迅速发展，全球动保市场的产业结构越来越集中化。2013年全球前十名动保市场集中度为78%，而2016年，仅先灵葆雅、辉瑞、梅里亚等全球前五大公司的市场占有率为53.8%，2017年已近57%，先灵葆雅和辉瑞两个公司占有率就达30%。但美国、西欧和日本这些兽药行业发展最为成熟的地区，其兽药生产企业数量并不多，但规模大。

1.3 全球动保市场产品构成情况

全球动保市场产品构成，以服务对象分析（图2），宠物药品市场最大占40.3%，牛和小反刍药品占29.3%，其他为猪、禽用药^[2]。以类型分析（图3），化学药品占57%，生物制品占29%，其他为饲料添加剂。按用途分析（图4），抗寄生虫药最多32.4%，其次是疫苗26.6%，抗菌药为14.5%，局部用药和其他产品26.6%。以2017年，美国批准的

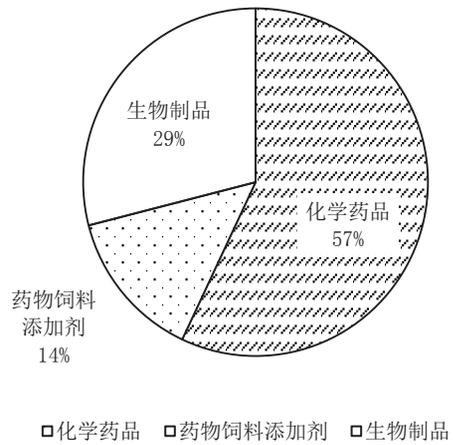


图3 全球兽药市场不同类型产品比例

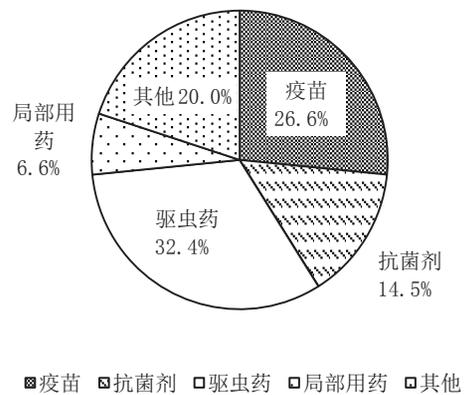


图4 欧洲兽药市场不同用途兽药比例

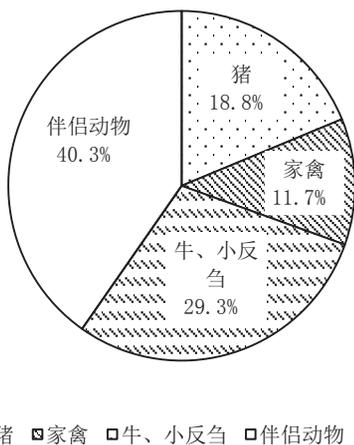


图2 全球兽药市场不同服务对象产品比例

11种生产动物用药为例，多数是抗菌药、抗球虫药和生长促进剂的复方制剂药物性饲料添加剂，肉鸡用的品种多，猪药和牛药少。

由此可见，全球动保市场兽用化药是主要部分且抗寄生虫药规模大于抗感染药，有上升的趋势。可能原因一是欧盟从2006年起禁止所有抗菌药物、促生长添加剂用于养殖业；二是动物性食品中抗菌药残留问题备受关注；三是国外食品

动物以牛为主且宠物市场规模较大,使得抗寄生虫药的需求较大。此外,兽用生物制品的规模和比例也呈上升态势,规模占比达到三分之一,且自2017年以后,欧盟疫苗的增长速度超出驱虫药,相比抗生素则呈下降趋势。

1.4 全球动保市场的研发投入情况

全球大型的兽药企业具有较强的研发创新能力,每年的研发投入较大。据国际动物卫生联合会年报^[3],欧盟跨国公司在研究与开发中的投入占到总费用的12%左右,中小企业在研究与开发中的投入也占6%左右,2019年研发投入占比为6.82%。欧盟跨国公司在现有产品维持市场防御性研究与发展中投入占35%,且花费1.29亿欧元和5~11年时间上市1个新产品。其药品研发更多倾向于宠物药品、复方制剂、抗寄生虫药品、非甾体抗炎类这几大类产品种类。可见,全球大型兽药企业通过大量的研发资金投入,强大的产品研发能力和充足的时间来推出技术含量和附加值较高的产品。

2 我国兽药的发展现状

2.1 我国兽药企业的规模、分布情况

据中国兽药信息网,2019年我国兽药企业共计1632家,较2018年略有减少,其中,80%为中小型企业,大型企业占比不足5%,其他为微型企业,多为化药企业,少数为生物制品和中药企业,其中山东省、河南省企业最多,分别占16.66%和13.12%,河北省、江苏省和四川省其次,分别占6.85%、6.96%、8.44%,山西、江西、广东较多,占4.05%~5.70%。不同类型兽药企业因其生产条件需求不同,地域分布也不同。生物企业分布较散,多分布在科研院所或科研院校临近的地方;原料药企业分布较集中,一般在兽药制剂企业的下游市场,化药制剂企业主要集中在长江以北^[4]。

2.2 我国兽药产业的产能、市场规模情况

由表1可知,2011~2017年,我国兽药产业总销售额每年都在增加,由2011年的334.72亿元增加到2017年的473.07亿元,年平均增长率为

表1 2011~2018年不同类型兽药的销售额及所占比例

分类 年份	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	金额 (亿)	比例 (%)														
生物制品	73.33	21.91	88.88	22.16	94.33	23.48	103.78	25.51	107.08	25.89	125.09	26.93	133.63	28.25	132.92	28.96
原料药	78.39	23.42	100.17	24.97	81.70	20.33	89.26	21.94	94.82	22.93	106.09	22.84	117.43	24.82	114.62	24.97
化药	148.13	44.25	168.98	42.12	179.70	44.72	169.96	41.78	169.41	40.96	182.83	39.36	180.57	38.17	174.59	38.04
中药	34.87	10.42	43.11	10.75	46.10	11.47	43.76	10.76	42.26	10.22	50.49	10.87	41.44	8.76	36.84	8.02
合计	334.72	100	401.14	100	401.83	100	406.76	100	413.57	100	464.50	100	473.07	100	458.97	100

注:数据来源于中国畜牧网

12.85%,而2018年略有下降为458.97亿元。其中,生药销售额增加最快,原料药其次,化药制剂和中药较缓;生药销售额所占比例逐年上升,由2011年的21.91%上升至2018年的28.96%;原料药在20.33%~24.97%波动;化药制剂呈下降趋势,由2011年的44.25%降至2018年的38.04%;中药相对稳定,在8.02%~11.47%浮动。

尽管2018年兽药销售额略有下降,但我国兽药销售额总体呈上升趋势且产业需求平稳。除2019年(因非洲猪瘟疫情影响,猪疫苗销售额下降),生药的销售额呈持续增长态势,年递增4亿~18亿元;中药平稳,年均40亿元左右,但2019年中兽药增长幅度最大;而化药有走低趋势,尤其是抗菌药销量持续下降,年递减5亿元左右,尤其是2016年突出,递减12亿元,但总体仍以化药的销售额最多。上述变化可能与我国畜牧养殖业集约

化程度越来越高、对动物疫病防控越来越重视及国家出台一系列“减抗限抗”政策有关。

2.3 我国兽药注册数量、类别、种类比例等情况

2.3.1 我国国内兽药注册数量、类别、种类比例等情况

2018年和2019年我国新注册兽药分别为71种和79种,化药分别为31种和22种,70%以上为化学制剂类且以注射液、片剂和溶液为主,其余为原料药。化药注册数量下降趋势明显;生药分别为31种和43种,仍以猪用、禽用预防类疫苗为主,但2019年诊断制剂有13种,占比达16.45%,明显增多,特别是针对非洲猪瘟、禽流感等新发疫病试剂较多,宠物、水产及犬、猫、貂等其他动物药物数量也有所增加,尤以水产类动物药物突出,2019年新注册5种一类药物中水产类动物药物有2种。生药注册数量保持持续增长态势;中

药分别为9种和24种,分别为散剂、口服液、颗粒剂,注册数量上升突显。说明我国兽药产品结构受政府引导和市场需求等影响正在积极调整。

我国新注册分类的药物见表2。2011~2019年共有554种。依类型划分,生药293种,化药165种,中草药107种;依类别划分,三类药物303种,二类药物126种,四、五类药分别为42种和50

种,一类药物仅23种;新药注册情况,2011~2014年药物注册数量较稳定,50种左右,2015年起注册数量呈持续增长态势,以2019年最多为79种,2016、2018年次之,为71种。

由上可知,从分型和用途上,生药仍为新药物注册的主流且以猪禽用药为主,化药有降低趋势,以化药制剂为主且抗微生物药较多。从类别

表2 2011~2019年我国国内兽药注册的数量、类别及比例

类别	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		平均	
	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例
一类	1	1.92	3	7.14	1	2	1	1.85	1	1.45	4	5.63	5	7.69	2	2.82	5	6.33	23	4.15
二类	16	30.77	5	11.90	13	26	12	22.2	12	17.39	8	11.27	14	21.54	24	33.80	22	27.85	126	22.74
三类	27	51.92	27	64.29	29	58	28	51.85	41	59.42	49	69.01	33	50.77	35	49.30	44	55.70	303	54.69
四类	7	13.46	6	14.29	6	12	4	7.41	6	8.69	4	5.63	4	5.15	2	2.82	3	3.80	42	7.58
五类	1	1.92	1	2.38	1	2	9	16.67	9	13.04	7	9.86	9	13.85	8	11.27	5	6.33	50	9.03
总数	52	100	42	100	50	100	54	100	69	100	71	100	65	100	71	100	79	100	554	100

注:数据来源于中国兽药信息网

上,我国注册新药以三类药最多,占注册总数50%~69.01%;完全创新性质的兽药很少,平均占注册总数的4.15%,2017年比例最高也仅为7.69%;二类药物平均也仅占22.87%。

尽管2019年我国注册一类、二类新兽药的比例有所增加,说明国内兽药虽有发展但创新性质的药物研发实力尚且不足,多模仿国外产品,处于跟进阶段,致使兽药创新与仿制不平衡发展。

2.3.2 我国进口兽药注册情况

依据国家兽药基础数据库,截至2019年1月,我国进口兽药注册77种,其中化药(制剂)58种,片剂和注射液居多,制剂30%以上为猪、牛、犬、猫等动物专用药,宠物类占专用药的50%左右。生药19种,80%为猪、禽用药,但较国内,宠物药

所占比例较大。说明我国进口兽药以化药为主,占比在75%以上,且有上升趋势,但我国国内兽药市场动物专用药和宠物用药研发和供给不足。

国内进口新兽药注册情况如图5所示。2010~2018年药物注册共599种,其中,生药254种,化药362种。整体注册数量以2012、2013年注册较多为74种,2017年为高峰达120种,2018年突然降低。可见,进口兽药注册的种类和数量随我国兽药产品供给和政策变化而变化。以生药为例,2010~2013年其注册数较化药多,之后减少,2018年仅为23.33%,2019年持续下降。可能与我国生物制品自2013年起自主研发取得一定进展有关,国内供给逐渐增多,所以进口兽药新注册量和种类有所降低。

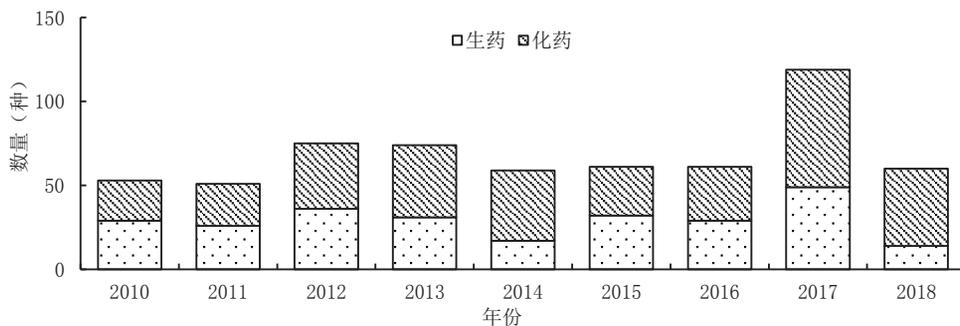


图5 2010~2018年国内新注册进口兽药情况

2.4 我国进出口兽药情况

我国进口兽药产品主要以生物制品和药物饲料添加剂为主,分别占到49%和23%,抗微生物药物为17%,其中宠物及其他用药品占进口总额的比重由2015年的16.74%上升至29.77%,猪、牛、

羊用药品所占比重有所下降(图6、图7)。

我国兽药出口产品主要以原料药和化药制剂为主,分别占到55%和43%,生物制剂仅为2%,原料药以抗微生物药为主74.13%,抗寄生虫药占23.55%,解热镇痛药和其他药较低^[1](图8)。

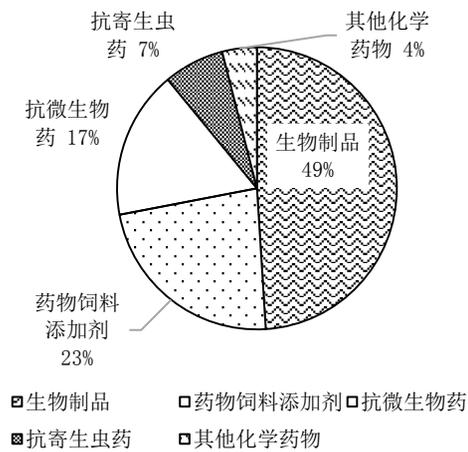


图6 进口兽药产品类别情况

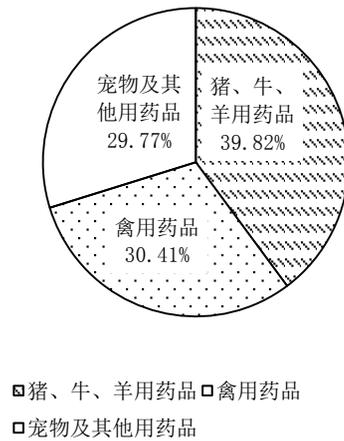


图7 进口兽药产品用途情况

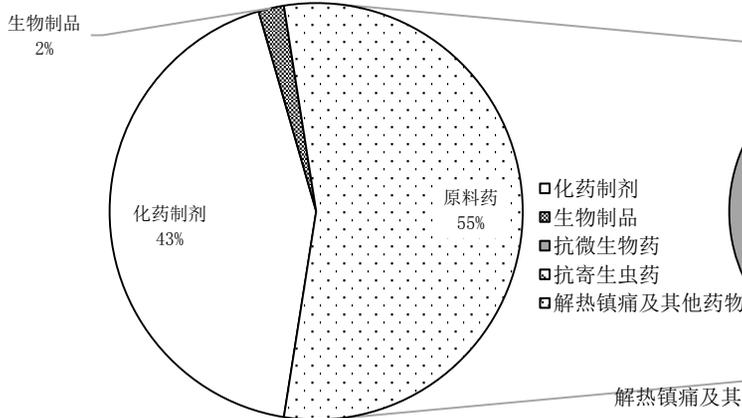


图8 兽药出口产品情况

2.5 我国兽药企业集中度和研发情况

据中国畜牧网统计,我国兽药企业集中度,2017年前10名企业销售额占其行业总销售额情况,生物制品占56.26%,原料药占42.97%,化药制剂占23.52%,中兽药占14.72%。生物制品的市场集中度最高。2019年中兽药企业集中度增长至28.27%,提升速度最快。总体我国企业规模的发展和集中度改善较慢。虽生物制品集中度较化药制品高,但市场结构仍属于低集中竞争型;原料药的市场结构与其相似,而化药制品和中兽药的产业集中度水平偏低,属于分散竞争型^[5]。

我国兽药企业的研发,据耿玉亭^[2]研究,在2008~2014年生药和化药每年研发投入均在增加,其中生药的年均研发投入占7.43%,较化药5.11%高。2018年生药研发投入在10%左右,主要投入到现有疫苗改进、新型疫苗及其佐剂和保护剂的研发上,而化药增幅较小,在7%左右,主要投入半合成抗生素新药研发。2014年以后中兽药研发的投入比例也在加大。说明生药和中兽药的研发投入呈上升趋势,生药也是研究的热

点。综上,我国兽药企业市场集中度和研发投入虽有所改进但整体不高,特别是中兽药企业尤为突出,兽药企业仍存在研发力量不足,前沿性研究较少,科技成果转化率低等现象。与我国大部分企业为中小型企业,其规模较小且分散,资金不足,技术有限,实力较弱,使其发展在一定程度上受到制约有关。

3 国内外兽药的发展趋势与前景

3.1 兽药市场持续扩容

据上述分析,未来几年全球动保市场总体将保持增长态势,产品疫苗有所增长,仍以抗寄生虫药为主,疫苗次之,同时新型动物专用抗菌药市场前景广阔,高品质疫苗占有量不断加大,特别是猪、禽疫苗市场需求量大。全球最大的动保市场仍然是宠物药品市场,处于发展态势,其次是牛和小反刍药品市场,最后为猪、禽、羊类市场。

我国兽药市场持续扩容且利润有所增长。化药以抗微生物药为主,其次是抗寄生虫药,生药以禽、猪用药最多,宠物和水产、貂等其他动物用

药会逐渐增加。总体国内以生物制品发展较快且呈持续上升态势。据统计,2017年生药销售额同比增长22%,但制剂类药物和抗菌类药物减少,下降速率自2016年以后逐年增加,原料药和中药发展平稳。进口兽药和出口兽药变化幅度不大,分别以化药制剂和原料药为主。

3.2 兽药产品结构不断调整

国外兽药产品中疫苗、抗寄生虫药物和药物饲料添加剂增加趋势明显。特别是疫苗增长突出,2019年占比超越抗寄生虫药物,宠物药物和新型动物专用药种类也在增加,抗菌药逐渐减少。我国因抗生素相关限用、禁用政策,兽药产品治疗性药物特别是抗菌素类药物的使用逐年减少,免疫疫苗、预防保健类药物逐年增加;我国宠物用药、水产用药已进入新的研究阶段。2018年,水产养殖类生物制品有2项临床试验审批数据,新药注册中宠物用药的比例为4.37%,较历年的3%有所提高,生物制品临床试验审批数据的比例也达11.26%。2018年进口兽药注册中,犬、猫类用药占15%,因此加快开发宠物、牛羊和水产专用药及水禽、特种经济动物、海洋生物用药是我国兽药研究的新方向并具有很大发展前景。此外,生物诊断试剂和治疗试剂比例也在增加,尤以2019年突显,而益生菌、酶制剂、中草药提取物、生物活性肽等抗生素的替代品也会逐步发展。

3.3 兽药企业集中度不断改进

目前,国内外兽药企业的集中度均有所改进。国际动保市场早在1998年就开始进行转型升级、兼并重组,至今硕腾已发起15起并购。诗华、辉瑞、先灵葆雅等多家公司于2005年至2017年间通过收购不同类型的中小型企业,其市场占有率至2017年提高了25%以上。我国企业加快集中化的步伐较晚,2015年海正、瑞普、金河等分别并购云南生物、华南生物、杭州荐量等公司,2017年海利生物、生物股份、天邦股份分别并购了上海裕隆、辽宁益康、必威安泰等。尽管与国外有所差距,但大型企业不断增多,产能和产业集中度均有所提高。未来兽药企业产业集中化的提升不仅是中小型兽药企业趋于联合、兼并重组、转型升级,还趋向于联合科研院所、跨境和产业集聚化等路径。同时,针对我国企业集中化的现状可通过提升企业规模和产业核心竞争力等措施建立“高进入-低退出”壁垒机制。

3.4 兽药企业创新水平逐步提升

兽药企业需在加大科技创新和科研项目扶持

的基础上以强化新产品、新技术等要素为支撑,逐渐重视加大创新力度,提升创新水平,创新产品和技术^[6]。化学药品创新以筛选、构建活性新化合物和动物专用新型抗菌原料药为研究方向,同时运用包合、微型包囊、纳米乳化等技术加大新制剂的创新^[7];中兽药创新以研制中西复方合剂、中药植物提取物制剂和中草药饲料添加剂为主,利用基因工程技术、生物制药技术、微波提取技术研究中草药活性成分、鉴别、筛选等是中草药开发利用的新型领域,如利用单克隆抗体、细胞工程提取中草药中的蛋白质。利用浓缩技术、超微粉碎技术工艺加强中草药提取工艺的研究及颗粒剂、缓释剂、微型球囊剂、涂擦剂和喷剂等新剂型的开发与利用,以受体和基因为靶作用位点研发新药^[8-12];生药产品的研发创新主要以抗病毒、抗寄生虫、抗细菌为研究目标,仍以研究疫苗为主但将会由单联、单价苗向多联、多价疫苗和新发病的疫苗(如非洲猪瘟疫苗)发展。技术的创新趋于应用全悬浮培养、微载体、纯化浓缩等培育优良制苗毒株,应用克隆、生物转化、遗传修改、基因组技术等研制重组亚单位疫苗、基因缺失苗、核酸疫苗等基因工程疫苗,且应用超滤浓缩技术和高密度发酵与生物反应器等手段提高疫苗抗原含量和疫苗产量。此外,新型生物抗菌药物、动物疫病诊断剂、治疗剂、免疫佐剂、保护剂、干扰素、转移因子、微生态制剂、海洋生药等的创新与研发也正逐步发展^[13]。

3.5 兽药企业研发投入逐年增加

首先,国内外兽药企业的研发费用逐年增加。全球大型兽药企业每年研发投入占总费用的10%以上。我国研发费用投入也在逐年增加,特别是生药研发投入至2018年已近10%,兽用生物制品和中兽药是行业未来研发投入的主要增长点,而高效、低残留、低毒、停药期短、畜禽专用等药物将成为研发投入的重点。其次,研发技术不断提升。如透皮制剂、控释制剂、兽药新辅料及其新设备等技术的研发和利用。此外,利用大数据技术对兽药相关政策、资讯、技术、标准等信息进行深入研究,补充构建兽药信息知识库,实现兽药生产决策、药物预测、动物疾病防治预警,并指导药物的研发方向,寻找靶标、建立模型、构建化合物等并提高药物的安全性,同时利用网络药理学和分子对接大数据分析技术进行药物研发和创新也是企业研发的一个新方向^[14-16]。未来兽药企业的研发投入和技术改进不仅依赖企业自身的提

升,也需要与其他企业或相关实验中心、科研机构、高校等单位形成兽药产业技术创新联盟,通过“产、学、研”一体联合研发^[17],才能得到更好的发展。

参考文献:

- [1] 袁宗辉.国内外兽药研发与应用情况[J].中国动物保健,2018,20(2):11-15.
- [2] 耿玉亭.我国兽药产业概况、政策与趋势[N].中国畜牧兽医报,2016-02-21(03).
- [3] iFAH. European Animal Health Industry in profile 2016[R]. Brussels: iFAH 2016.
- [4] 李逸波,周瑾,张亮.我国兽药产业发展现状分析与建议[J].保定学院学报,2015,28(2):16-21.
- [5] 吕雅辉,周瑾,赵耀,等.我国兽药产业集中度问题与改进政策研究[J].黑龙江畜牧兽医,2016(12):26-29.
- [6] 李明.我国兽药产业现状与发展趋势[J].兽医导刊,2018(19):14-15.
- [7] 王晓艺,王林,郭梦鸿,等.新制剂技术在兽药中的应用及发展[J].家禽科学,2017(6):51-54.
- [8] 顾进华.中兽药在动物养殖中的应用及发展趋势研究[J].

中国兽药杂志,2017,51(5):57-61.

- [9] 万遂如.关于我国中兽药产业的发展问题[J].兽医导刊,2018(23):6-12.
- [10] 孙亚萍,李亭.浅谈生物制药的发展及其在医药领域的应用[J].中西医结合心血管病电子杂志,2018,6(23):45.
- [11] 李龙瑞,张吉鹏,张庆生,等.中兽药超微粉碎工艺研究[J].东北农业科学,2019,44(1):32-39.
- [12] 万遂如.关于我国生物兽药产业的发展问题[J].猪,2019(3):93-96.
- [13] 顾进华.兽药科技创新发展趋势和对策研究[J].中国兽药杂志,2016,50(8):57-61.
- [14] 陈娉婷,官波,沈祥成,等.大数据时代开放式农业信息知识库构建研究[J].东北农业科学,2018,43(5):60-64.
- [15] 张春丽,成彧.大数据分析技术及其在医药领域中的应用[J].标记免疫分析与临床,2016,23(3):327-333.
- [16] Lisa Y, Pang, David J, et al. Veterinary oncology: Biology, big data and precision medicine[J]. The Veterinary Journal, 2016, 213: 38-45.
- [17] 张雨桐.促进兽药行业健康可持续发展-2017第二届兽药行业发展暨畜产品安全高层论坛在兰州成功举办[J].兽医导刊,2017(19):31-33.

(责任编辑:王丝语)

(上接第118页)微生物制剂有望在叶用蔬菜生产上应用,在农业的可持续发展中有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 杜雷,葛米红,张利红,等.微生物菌剂对快生菜品质和产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(12):5259-5277.
- [2] 程园园,王晓丹,刘莎莎,等.两株生菜根际芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)的分离与特性研究[J].微生物学通报,2014,41(12):2450-2457.
- [3] Suzuki W, Sugawara M, Miwa K, et al. Plant growth-promoting bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* P23 increases the chlorophyll content of the monocot *Lemna minor* (duckweed) and the dicot *Lactuca sativa* (lettuce)[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2014, 118(1): 41-44.
- [4] Cipriano M A P, Lupatini M, Lopes-Santos L, et al. Lettuce and rhizospheremicrobiome responses to growth promoting *Pseudomonas* species under field conditions[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2016, 92: 1-13.
- [5] Maroniche G A, Rubio E J, Consiglio A, et al. Plant-associated fluorescent *Pseudomonas* from red lateritic soil: Beneficial characteristics and their impact on lettuce growth[J]. The Journal of General and Applied Microbiology, 2016, 62: 248-257.
- [6] 葛立傲,刘小英,罗杰,等.不同微生物菌剂对结球生菜幼苗生长的影响[J].上海蔬菜,2019(5):63-64,78.

- [7] Noel T C, Sheng C, Yost C K, et al. *Rhizobium leguminosarum* as a plant growth-promoting rhizobacterium: direct growth promotion of canola and lettuce[J]. Canadian Journal of Microbiology, 1996, 42: 279-283.
- [8] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2015:81-84.
- [9] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:119-197.
- [10] 褚义红,崔世茂,付崇毅,等.不同微生物菌肥对生菜生长及品质的影响[J].蔬菜,2014(3):20-24.
- [11] 宋晓晓,邹志荣,曹凯,等.不同有机基质对生菜产量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):153-160.
- [12] Hsu C K, Micallef S A. Plant-mediated restriction of *Salmonella enterica* on tomato spinach leaves colonized with *Pseudomonas* plant growth-promoting rhizobacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 259: 1-5.
- [13] 熊宏斌,熊宏玉.复合微生物菌剂在宜良县生菜上的应用研究[J].云南农业科技,2019(5):13-15.
- [14] 葛立傲,刘小英,罗杰,等.施用微生物有机肥替代化肥与化肥减量对结球生菜生长的影响[J].现代农业科技,2019(23):62-63.
- [15] 李乐,孙海,刘政波,等.微生物肥料的作用、机理及发展方向[J].东北农业科学,2016,41(4):63-69.

(责任编辑:刘洪霞)