

中国的猪育种研究现状与发展趋势

陈瑶生

(华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642)

摘要: 在简要阐述国际猪育种发展趋势和分析国内猪育种现状的基础上, 重点讨论了我国的全国性及区域性种猪遗传评估工作, 以及场间遗传联系的建立, 提出了我国未来猪育种的基本策略和工作重点。

关键词: 猪; 遗传评估; 联合育种

中图分类号: S813

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X (2005) S0-0001-11

Research and trend of swine breeding in China

CHEN Yao sheng

(College of Animal Science, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Based on the brief reviewing of swine breeding in the world and analysis the problems in swine breeding in China, the program of national and regional swine genetic evaluation was discussed, the necessity of establishing genetic connectedness between swine farms was also debated. Finally, the future swine breeding strategy and crucial works in China were suggested.

Key words: swine; genetic evaluation; union breeding

中国具有近万年的悠久养猪历史,我国由于人口居全球之冠、以及人民的消费习惯和长期的小农经济,而一直稳居世界第一养猪大国的位置。但与之极不相称的是现代猪育种工作上的落后,迄今还没有一个完全国产化的现代化商品瘦肉型猪种。我国长期的猪育种实践和国际上种猪育种先进国家的经验和教训表明,以动物模型为主的种猪遗传评估、以及在此基础上的联合育种是猪常规育种的首选方法,特别是商业化的瘦肉型猪品种选育迫切需要通过这种方式提高种猪质量,拓宽我国种猪在国际种猪市场强大竞争压力下的发展空间。现代的猪育种已不再是某一单项技术的应用,而是遗传学理论、计算机技术、系统工程和育种学家实践经验的一个集合^[1-4],猪育种技术的进步直接带来了选种准确性和育种效率的提高。

事实上,猪的育种长期以来都得到我国各级主管部门的高度重视,在连续 4 个“五年计划”的科技攻关中都作为重点进行攻关研究,科技部和农业部

都给予了大力的支持。近年来,有科技部“863”计划、“农业科技成果转化资金”等多种渠道对猪育种研究提供支持,各地方科技部门也都有较大的投入。特别是“九五”以来,在农业部“引进国际先进农业科学技术”项目支持下,投入引种资金 300 多万美元,直接从美国、加拿大、英国、丹麦等养猪先进国家先后引进了大量的种猪^[5-6]。此外,由于我国大型养猪企业的发展,由企业自筹资金引进的种猪数量更多,客观上造成了我国已拥有了世界上各种优秀种猪资源,成为名副其实的种猪博览市场。目前已具备培育适应我国养猪业发展所需、能够独立运作、可持续发展的优秀种猪繁育体系的条件。

猪育种是一项长期的工作,我国规模化瘦肉型猪基本形成了以杜洛克、长白和大白的洋三元杂种为主体、土洋杂等为辅的生产体系。中国虽然是世界养猪第一大国,核心种猪来源长期依赖进口,长期处于“引种→维持→退化→再引种”的不良循环,导致整个繁育体系受制于其他养猪先进国家,在全球经

济一体化时代,对我国这样的养猪大国来说是非常不利的.因此,迫切需要准确把握国际猪育种发展的最新动态,全面分析我国猪育种拥有的优势和缺陷,明确在21世纪我国猪育种的总体目标和行动策略^[7-9].

1 猪育种的发展趋势

养猪生产一直是世界各国畜牧业发展的重点.2004年,加拿大的生猪存栏量达1 578万头,是世界最大的猪肉出口国,其出口国家主要有美国、日本、澳大利亚、韩国、新西兰、墨西哥等.加拿大拥有世界最大的纯种核心种群之一,拥有15 000个养猪场,种猪出口50多个国家,猪肉出口90多个国家.2004年,美国的生猪存栏量达5 938万头,猪肉消费占全美农牧产品消费的第4位,2004年的年屠宰量就高达1.035亿头,猪肉的出口量达16.5亿磅,比2003年增长了30%,猪肉出口产值增加到18.8亿美元,比2003年增加了35%.2004年,美国猪肉的主要出口国依次为日本(42%)、墨西哥(25%)、加拿大(11%)、中国台湾(5%)等.

美国养猪生产分为种猪和商品猪生产2种方式.在种猪生产上,原种场和扩繁场的界限不是很分明,一般大规模的种猪场(核心群母猪400头以上)都具有原种场、扩繁场的双重功能,既饲养曾祖代猪,也饲养祖父代猪.核心群选留比例,曾祖代为1%~3%,祖父代为12%~13%,其余为基础母猪群.过去在美国专业从事种猪生产的企业很少,而现在种猪和商品猪生产都发生了很大变化,育种场和商品猪场的数量越来越少,而规模却越来越大.养猪场数量从1976年开始锐减,到2003年大约还有80 000个,仅是1976年的1/8左右,而平均每个养猪场的存栏量超过了1976年时的8倍.以前育种场饲养单一的品种,现在大型的育种公司至少饲养2~4个品种,这些公司往往也从事杂交商品猪的生产.在美国用于种猪生产的主要品种有:Landrace、Yorkshire、Berkshire等作为母系,Duroc和Hampshire等作为父系,父系的利用年限一般为1~2年,年更新率达50%.

由此可见,世界先进养猪国家、养猪公司均试图扩大选育基础群、统一测定方法、统一遗传评估并实施规模化联合育种模式,跨场、跨地区甚至跨国界的遗传评估与遗传交流成为现实.如SYGEN公司(原PIC集团)在英国、美国、加拿大分别拥有自己的核心群,各国核心群必须使用30%以上其他国家的核心群精液用于品种改良.丹麦、瑞典等养猪先进国家在国内开展大范围的跨场间遗传评估(cross-farm ge-

netic evaluation),由统一培训的测定员在场间进行巡回测定,数据传至国家网络中心进行评估,根据评估结果指导场内种猪选育^[10].

丹麦长期坚持不懈地进行优良品种改良,始终拥有世界一流的猪种,这是丹麦成为一流养猪大国的最根本的一条经验.丹麦国家生猪委员会组织实施了丹麦猪育种计划,简称“丹育”,联合了国内42家种猪场,约72个种猪群,共有7 500头纯种母猪,拥有180个繁殖群,4.2万头母猪,生产商品猪的种猪有110万头.此外,丹麦正在泰国、中国、美国等地建立其微卫星场(Micro satellite farm),寻求一种跨国界联合育种模式,其欲占领世界范围种猪市场的决心也可见一斑^[11].

加拿大20多年前与我国目前的情况类似,也是一个引种大国,然而经过15年左右时间,培育出了已具有自身特色的优良种猪,转而成为种猪输出国,经验表明,建立一个结构完善、运转顺利的种猪遗传评估系统,是其成功的关键所在.加拿大的种猪联合遗传评估由加拿大猪改良中心(Canadian Center for Swine Improvement CCSI)负责,CCSI拥有一个含有全国1 800万头猪的生产性能测定和遗传评定记录的国家数据库,这些数据来自于参加全国猪联合育种的各猪场的场内测定数据和各地区的中心测定站的测定数据,每年有10万多头种猪参加测定.该系统操纵了全国的猪种改良,以育种场为基地,省或地区中心为纽带,全国种猪改良中心为核心,三者有机组成种猪管理体系.国家种猪改良中心制定国家标准(包括种猪测定制度),每个季度报告1次全国父系、母系育种值.省或地区中心承担数据的收集和测定,育种场负责现场测定,并计算场内种猪育种值.每个月,要将新的测定数据加入数据库,并同时进行遗传评估,而后将评估结果传送给地区中心和有关农户.主要由西部种猪测定协会(WSTA)、安大略种猪改良公司(OSI)、大西洋种猪中心(ASC)等组成^[12].

在美国,由专业化公司(如在Nebraska的SPF猪育种公司)派员巡回到各个种猪场(区域性,一般以州为单位)进行测定并收集有关数据(称质量、超声波测定、新的产仔记录等)并对其进行评估.而国家种猪登记协会(National Swine Registry NSR)则对来自全国各个种猪场的数据进行分析(猪测定与遗传评估系统,Swine Testing And Genetic Evaluation System, STAGES计划),将全国的种猪性能测定结果通过遗传评估将每个种猪的育种值汇编成电脑联网数据库,数据随时可以升级.每一头公猪都有2个按

BLUP原理计算的公猪性能指数值 (sire performance index SPI) 作为其种用价值的综合评估, 以便进行公猪间的横向比较。此外对每个公猪的各项具体性能的育种值以期望性能差 (expected performance difference EHD) 的形式给出。所有评估信息可通过网站 www.nationalswine.com 直接获得, 从而使全美的种猪育种信息共享和种猪商务国际化得以实现^[13]。

2 中国的猪育种

中国是世界上对猪的驯化与饲养最早的国家, 远在殷墟古国, 甲骨文时代就有猪的文字记载。英国著名学者查里·达尔文 (1809~1882) 的《物种起源》中就多次提到我国人民对人工选择及变异观念的卓越贡献, 同时指出中国人民是最早驯化家猪等动物的, 已经历了几千年养猪历史, 通过长期对猪的选育与饲养, 我国劳动人民在猪的遗传资源保护与利用方面做出重大贡献, 选育了适应不同地区、各具特色的猪种, 为现在的养猪业留下宝贵的遗传资源财富。根据联合国 (FAO) 资料, 中国地方猪种有 108 个 (含台湾则为 114 个)。2004 年经国家品种审定委员会修订的《中国畜禽遗传资源状况》中公布的中国猪地方品种为 72 个、猪培育品种及配套系 19 个、引入品种 8 个, 表明中国丰富的猪品种资源是世界之最^[14]。

历史上, 中国猪种对世界猪种改良做出过重大贡献。达尔文在他的著作中就提到“中国猪种对改进欧洲猪品种具有高度价值”, 《英国大百科全书》记载“现在欧洲的猪种, 是当地猪种与中国猪杂交而成”, 在中国猪条目中说明“早在两千年前, 罗马帝国引进了中国猪种, 改良他们原有猪种, 育成了罗马猪”。在 18 世纪初, 英国引入广东猪种与当地猪种杂交, 育成了约克夏猪和巴克夏猪, 英国在 1818 年, 约克夏猪曾称为“大中国猪” (Big China)。巴克夏猪则是老式英国本地猪与从广东引入的黑猪或白花猪 (指广东黑猪和大花白猪) 杂交培育成的, 美国的切斯特白 (Chester White)、波中猪则由 1817 年引进的华南猪改良而成。近年来, 法国引进太湖猪改良现有品种则更是很好例证。这充分说明了中国猪种资源不但过去, 而且现在仍对世界猪种改良具有重大影响。

从中国养猪的历史过程分析, 概括其育种思路, 不外乎是选育纯种, 这是中国历代祖先的选育思路。从选育效果来看, 它经历了漫长的年代, 中国许多地方品种的形成可以说明是有其效果的。而从选育时期、效率来看, 这种思路是时间长、主动性不强, 由于

其本质是表型选择, 遗传进展较慢。可以说这是一种费时、进展很慢的选育方法。这些做法在地方猪种选育中经常采用提纯复壮, 以及群体继代选育等, 在选育上有一定作用, 但主要思想仍是立足于保, 而且是从表型性状进行选择, 可以说这是得其果, 未知其因, 不是理想选育方法。

20 世纪 50 年代我国开始了广泛的杂交利用, 当时较普遍的提法就是“母猪本地化, 公猪外种化, 肉猪杂交一代化”, 即所谓“三化”, 其目的是利用有“目的性状”的优良猪种与需要改进这类性状的猪种杂交, 从而使这类性状优化, 此方法在养猪生产上使用相当普遍, 提出多种杂交模式, 例如二元杂交、三元杂交、回交、轮回杂交, 以及提出宝塔式育种体系, 也在这个年代, 养猪业开始走向市场、面向商品生产。为获得更大利益所驱动, 以求更快生产出产品, 从而在选、育种方法上有了改进。在我国发展养猪业过程的一段时间, 用杂交方法意图培育新品种有不少例证。各省各地都有不少新品种培育成功的报道, 这些品种的培育都是“土洋”结合, 区别只是采用杂交品种、杂交代数及对目的性状选择要求等差异。例如三江白猪、哈尔滨白猪、泛农花猪、新淮猪、湖北白猪、广东黑猪、上海白猪、海南屯昌黑猪等, 这些猪种随时代的发展, 有的已消失, 有的只是少数存在, 成为培育品种中的保种对象。

中国不但拥有众多的地方猪种资源, 自建国以来, 特别是改革开放以来, 为了适应市场需求, 以及开展猪品种的杂交利用, 中国又成为引进国外优良猪种资源最多的进口国。引进品种数量之多、引进国之广泛、引入种猪群体之大, 也堪称世界之最。以广东为例, 到目前经合法审批引进种猪就近 2 万头, 种猪来源遍及世界主要产区。这些种质资源的引进, 大大促进了中国养猪业的发展, 同时, 也相应地带来对地方品种资源保护的冲击与病原的引入增加, 对中国猪病防治产生潜在的隐患。同时, 对大量引入品种的性能提高、杂交利用也提出了全新的要求, 现代高性能的瘦肉型猪种选育成为国内猪育种的主要研究任务。

目前, 我国种猪场有 3 种类型: 一种是以温氏、长江等为典型的公司化育种模式, 其公司本身集种猪、商品猪生产及屠宰加工为一体的大型养猪企业; 一种是以天津宁河、广州力智等为典型的以种猪、商品猪生产为主体的中等大小养猪企业; 另外一种即以广东板岭猪场等为典型的以种猪生产为主体的养猪企业。但即使是温氏等大型养猪企业, 其纯种猪群体仍较小, 用于纯种选育的群体就更小, 遗传资源较

窄,不利于种猪性能的持续、快速改进。

近年来,据全国 27 个省、市、区的统计,种猪存栏达到一定规模的种猪场有 550 个(指饲养引进品种或培育品种,存栏成年种猪在 50 头以上的种猪场;饲养地方品种,存栏成年种猪在 40 头以上的种猪场),饲养有 107 个品种,其中从国外引进品种 12 个,国内培育品种 25 个,地方优良品种 70 个。种猪场的规模差距较大,550 个种猪场中,成年种猪存栏 1 000 头以上的场有 13 个,500~1 000 头的场 50 个,200~500 头的场 127 个,200 头以下的场 360 个。实际上,全国种猪场数量和每个场的种猪饲养规模都有增大的趋势,规模较大的种猪场,都饲养引进品种,一般集中在广东、浙江、湖北、北京等一些经济较发达的省份,这些种猪场基本上都坚持进行严格的种猪选育工作,培育的种猪质量相对较高,市场销路也好,自身的经济效益也比较明显。中等规模的种猪场,一般单纯饲养引进品种或引进品种和地方优良品种共同饲养,主要分布于东南沿海、中部省份及一些大中城市的郊区等,这些种猪场基本上作一些简单的种猪选育工作,主要进行种猪的扩繁或生产杂交一代母猪,供商品猪生产场或养猪专业户,其生产情况受养猪生产市场的变化影响较大,自身的经济效益也随市场变化而波动。

从种猪市场的发育来看,一个优质优价,优胜劣汰的种猪竞争市场逐步形成。特别是在一些经济较发达的省市表现得较为明显。我国目前的种猪市场大体可以分为 3 种形式:一是传统分散的种猪市场,也就是几十年来一直存在的种猪生产场在本场内向客户直接出售种猪,这也是我国目前种猪交易的主要形式;二是不同形式的种猪交易会 and 博览会,利用这种交易和展览会的形式,种猪供需双方见面,供方集中宣传展示自己的种猪,需方根据自己的需求来选择所需要的种猪,通过洽谈成交。这种交易、展览会每年在全国不同地方、不同层次、不同范围要召开若干次;三是种猪的集中测定与公开拍卖,首先按照一定的要求,统一标准,对参加拍卖的种猪集中进行统一测定,对测定成绩统一评估,并公布测定评估成绩,公开竞卖。这种形式的拍卖会已在广东、四川、浙江、湖北、北京等地成功地举办过若干次,效果很好,已被广大的养猪同仁所接受,受到了全国养猪界的关注和普遍欢迎。

另外,中国每年还要从加拿大、丹麦、美国、英国、法国、瑞典等一些养猪业发达国家进口数千头种猪,作为中国种猪育种资源的补充,主要是纯种的长白、约克夏、杜洛克猪等,中国也先后向美国、英国、

法国等国家出口过地方优良猪种,对国外猪种的培育和改良发挥了重要的作用。以前香港特别行政区的种猪主要来自台湾和其他一些国家,近年来大陆种猪质量不断提高,一些猪种的生产性能已达到了国际先进水平,种猪已占香港市场的 80% 以上。

与中国作为世界猪肉第一生产大国严重失衡的是,我国的种猪质量却一直没有大的、实质性进展,其原因是非常复杂的,除了中国悠久文化历史形成的独特消费市场和长期计划经济等因素作用外,主要可以概括为以下几点^[15 16]:

(1) 缺乏长远的育种眼光和有效的组织。长期以来中国的猪育种工作大多以科研项目的方式进行,例如自“六五”以来作为国家攻关项目、农业部重点项目等,一批培育猪种的育种工作得到了资助,但由于缺乏与市场直接联系的经济实体,未获得相应的经济回报。只有直接从事养猪生产的企业,甚至专业的育种公司才有可能组织结构合理的繁育体系,内部协调好各功能群体经营者的利益,建立有效的育种体系。

(2) 缺乏系统、持久的育种规划。猪育种工作的长期性和艰巨性是众所周知的,在缺乏长远利益眼光和结构完善的繁育体系情况下是难以长期执行有效的育种规划的。

(3) 缺乏牢固的基础性育种工作。猪育种依赖于长期坚持不懈的性能测定,需要积累大量有效的育种数据记录,这是制约我国猪育种工作的决定性因素。长期以来由于养猪生产的小农经济模式,经营规模有限,难以开展具有商品生产价值的育种工作,缺乏有效的育种措施,基本育种资料记录系统也不完善,基层种猪场技术力量不足、水平不高。

(4) 育种核心群规模小。长期以来国内猪育种的主要形式是以科研项目进行,多数是以短期(如五年计划)内进行若干世代的选育达到一定的技术指标为目的,小群体闭锁继代选育成为流行的方式,所能维持的育种群规模很小,难以获得具有商业价值的育种进展。

(5) 育种资金投入不足。长期以来中国在猪育种方面的投入严重不足,而且实际上投入到猪育种改良方面的资金也大大低于引种投入资金。另一方面由于猪育种通常以科研项目方式进行,养猪企业的积极性没有充分调动起来,难以主动在育种方面进行投入,这也是缺乏与之相应的有效繁育体系的结果。

此外,从技术水平应用上看,我国从种猪测定、人工授精等应用技术,到 BLUP、REML 等统计方法,

以及 DNA 标记辅助选择、分子育种等技术均已掌握, 但所有技术的应用都在局部的范围、单一场内, 未形成区域性乃至全国性的应用。导致至今未能形成强有力的种猪测定服务体系, 没有国内自行估算的遗传参数、经济加权系数。表面上看, 各项技术已在养猪业上应用, 实际每项技术均还远未能发挥该项技术应有的效果, 技术转化为生产力的潜力还非常大。可以认为, 国内育种界对现代育种理论掌握上与先进国家的差距并不大, 所缺乏的是长期坚持的育种基础性工作和遗传评估体系, 在这方面与发达国家存在着巨大的差距。

3 中国的种猪遗传评估

种猪的遗传评估就是将处于各种不同环境条件下的个体及其亲属的资料组合到一起进行系统的分析, 得到尽量准确的个体育种值评估结果, 得出所有参与评估的个体估计育种值 (EBV)。在各个育种场独立运作的情况下, 这种评估只能在本场内进行, 即实行场内的遗传评估, 相对而言这种模式容易操作。但缺陷是优秀种猪不能充分展示其优良品质, 评估的准确性也受到限制, 评定的优良种猪也不能得到有效的利用。

因此, 对于国家或区域性遗传评估来说, 在建立场间遗传联系基础上的跨场间遗传评估是必不可少的。这种评估就是在收集相同品种 (品系) 在不同场、不同时间的猪的性能测定资料基础上, 对不同场的公猪、母猪进行统一的遗传评估, 可以包括场内测定资料、中心测定站数据、国家品种测定数据等, 这种评估可以更加准确地比较不同场的个体种用价值, 这已成为所有种猪业发达国家的基础。与其他选种方案相比, 场间评估方案的优越性主要体现在以下几点: ①被评估个体及其亲属所有可利用的资料都可用于估计个体育种值, 因此可以获得最准确 EBV 由于个体只有一半的基因传递给后代, EBV 的一半称为期望子代差异 (EPD), 它是与同一个品种平均水平相比, 预计该个体的后代的性能表现。因为 EPD 以离差形式表示, 它可以是正值或是负值, 品种的均值是 0。这不同于场内评估, 场内评估是一半个体在场均值以上, 一半在均值以下。如果根据场间评估, 一个场内的大部分个体可能好于品种的平均水平, 也有可能相反。②评估数据来自许多的场, 用场间评估可以实现不同地点的个体比较。如果直接比较不同场的个体原始数据, 是有误的, 因为不同场的个体性能差异既有环境也有遗传的原因。③根据场间遗传评估得到的 EPD 进行选择, 将在更大的范围

内选出最好的猪作为种猪使用, 可以大大加快遗传进展。而且可以获得更多有遗传联系的数据, 将会有利于低遗传力性状 (如窝产仔数、初生个体质量等繁殖性状) 的改进。④场间评估可以充分利用包括中心测定站在内的一切可以利用的数据进行评估, 对胴体性状这些在场内很难评估的性状, 可以提供有价值的评估依据, 对这些性状实施选择。

1997 年初, 全国畜牧兽医总站和中加瘦肉型猪项目办公室 (简称中加项目办) 合作, 在全国开始了种猪生产性能现场测定与遗传评估技术推广工作。

1998 年 8 月在北京由全国畜牧兽医总站和中加项目办联合召开了第 1 次全国性的种猪遗传评估技术研讨会, 并邀请了加拿大种猪遗传评估方面的专家作了学术报告, 演示了全国性的种猪遗传评估网络系统。当年 12 月在广东省中山白石种猪场, 召开了第 1 次全国种猪遗传评估专家小组会议, 拟订全国种猪评估系统建设方案。1999 年 3 月由全国畜牧兽医总站、四川省畜禽品改站和中加项目办联合召开了全国性的遗传评估系统建设技术培训班, 聘请了加拿大专家授课。同年 10 月在杭州浙江农业大学召开的全国动物遗传育种学术讨论会上, 对种猪遗传评估和联合育种进行了专题讨论, 引起了国内同行的重视。

2000 年 3 月由全国畜牧兽医总站、广东省畜禽品种改良站和中加项目办联合召开了第 2 次全国性的遗传评估系统建设技术培训班, 讨论确定了“全国种猪遗传评估方案”。同年 5 月由全国畜牧兽医总站正式颁布了“全国种猪遗传评估方案 (试行)”, 标志着种猪遗传工作在国内的全面展开, 有条件的养猪场积极开展了规范化的场内性能测定, 并依据推荐的方法进行了场内遗传评估。全国种猪遗传评估方案对性能测定作了明确的规定, 要求从个体号开始建立能够溯源的统一编号系统, 在相对一直的条件下测定 3 个基本性状和 12 个辅助性状, 明确了场内评估应记录的性状, 并要求有统一的测定记录格式, 以便进行跨场间的联合遗传评估。严格按照这一方案有效地、长期坚持开展规范的性能测定, 可以为我国瘦肉型猪育种奠定坚实的基础。

至此, 中国瘦肉型猪育种有了标准操作程序和方法, 性能测定成为长期的基础性工作。在广泛开展此项工作的基础上, 受农业部委托, 在原有“全国种猪遗传评估方案 (试行)”基础上, 于 2002 年 8 月制定了农业行业标准“瘦肉型种猪遗传评估技术规范”, 2003 年 9 月通过专家审定。经过 4 年的努力, 已基本形成了以广东省为中心的华南区域、以四川

省为中心的西南区域、以河南省为中心的中原区域和以北京为中心的华北区域种猪遗传评估网络,基本实现了计算机联网和信息共享。

刘海良等^[17]在总结我国种猪遗传评估工作时指出,截至 2001 年底参加全国性种猪遗传评估的种猪场有 37 个,分布在北京、天津、河北、河南、浙江、湖北、江西、广西、广东、福建、云南、贵州及四川等全国 13 个省、市、自治区,共收集 30 000 多个个体的系谱、体质量和背膘厚测定数据(其中较为规范的有效数据 25 000 多个),近 10 000 头母猪的产仔性能记录。利用动物模型 BLUP 对这些数据进行了 100 kg 体质量日龄、100 kg 体质量背膘厚和总产仔数 3 个性状的育种值估计,并计算了个体的父系指数(包含 100 kg 活质量日龄和背膘厚 2 个性状)和母系指数(包括日龄、背膘厚和产仔数 3 个性状)。并将测定数据计算结果中父系指数超过 100 的优秀个体,在 2002 年 7 月由全国畜牧兽医总站发布的全国性种猪遗传评估结果中,首次在全国范围内进行了公布(<http://www.cav.net.cn>),以促进各种猪场按照规定更加规范地开展种猪测定和遗传评估工作,各场之间相互学习,取长补短。

2005 年在农业部的支持下,由国内多所高等农业院校和科研院所从事种猪遗传评估的专家,赴美国和加拿大专门对国家和区域性种猪遗传评估的组织和实施,进行考察和学术交流,进一步明确了在我国开展这一工作的重要性和发展方向。

种猪遗传评估在广东省得到畜牧行政管理部门和企业的高度重视,从性能测定到场内遗传评估都相对比较规范,测定规模也较大,有力地促进了广东省种猪质量的提高。李加琪等^[18]系统总结了在广东省 5 年多的种猪中心测定结果,表明整体上种猪质量有所提高。但在总体水平提高的同时,在不同地区、不同猪场、不同品种仍然有较大差异,刘小红等^[19]收集了广东省 5 家规模化猪场 5 年纯种长白猪的数据,反映出实际的群体遗传进展并不理想,其原因比较复杂,并建议在以后的选育中,应明确育种目标,走稳定、联合、提高的道路。王翀等^[20]报道了在大白猪新品系选育过程中,通过综合运用场内遗传评估和基因检测技术,使群体遗传性能基本上得到了持续的改进,特别是总产仔数在近 2 年有较大幅度的改进,反映了在遗传评估中运用基因检测信息进行辅助选择是有效的。此外,吴珍芳等^[21]应用 PEST 和 VCE4.0 对杜洛克猪的主要生长性状进行了遗传参数分析,提供的资料表明其种猪质量较为理想。

然而由于对种猪遗传评估的认识水平、种猪市场的发育现状、企业经济状况等一系列主观和客观条件的限制和影响,这项工作进展要比预期的缓慢。究其原因,一是目前开展这项工作的种猪场数量不多,比预期的要少;二是发展不平衡,部分养猪主要省份尚未系统地开展这项工作;三是已经开展测定工作的种猪场经过规范测定的种猪数量有限,有些数据不规范,严重制约了种猪质量的迅速提高;四是种猪的遗传联系建立比较困难,各场间缺乏足够的遗传联系,联合育种的效果没有真正得到体现;五是种猪测定仪器不统一、不规范,测定人员和数据分析人员需要系统规范的培训等。因此,要使这项工作真正发挥应有的效益,还需要各级政府部门、种猪企业、育种专家等的高度重视,在资金、技术、管理等方面给予必要的扶持^[17]。彭中镇^[22,23]对我国的外种猪育种、种猪性能测定和遗传评估中的一些问题提出了明确的看法,认为种猪测定与遗传评估工作紧密相连,特别强调了育种的组织实施,并对在全国更有效地开展这一工作提出了许多有参考价值的建议。

王楚端^[24]预测中国的种猪产业将呈现 5 种发展模式:① 国外育种企业以合资或独资方式,在中国建立扩繁基地,推广其配套系,发展成类似肉鸡、蛋鸡的配套系生产模式;② 更多国外育种协会在中国设立办事处,推销其成员单位的纯种种猪,如丹麦育种协会,也可能在中国合资建立种猪扩繁基地;③ 国内现有的少数规模大、实力雄厚的畜牧企业联合其他种猪场、商品猪场或养猪专业户发展为育种—养殖联合体,走“生产—加工—销售”一体的产业化、集团化经营模式,如广东的华农温氏畜牧有限公司;④ 种猪场改变闭锁核心群选育的理念,采用“闭锁—开放”相结合的选育方法,经常引进种猪,提高猪群性能,减缓近交压力,即采用“交流但不联合”的育种模式;⑤ 种猪场通过成立区域性的育种协会,走纯种猪联合育种的模式。前 3 种模式属于育种企业模式,其育种方法属于企业的技术机密,不可能对外公布,其成功与否直接由最终产品的市场占有率来检验。目前,我国社会化的猪育种组织工作的重中之重是促进第 4 种和第 5 种模式的发展和完善,将我国大量的中小型种猪场组织起来,开展联合育种工作,提高育种效率,改变整体上成为国外种猪场扩繁基地的局面。

4 区域性场间遗传的联系

国际上猪育种结构的发展趋势是核心群越来越分散,趋于国际化。以 Sygen 公司(原 PIC 集团)为

例, 其种猪核心群已转为以加拿大为核心, 在美国和法国建有辅助的种猪群, 在其他国家原则上只建立扩繁群。通过冻精等人工授精技术保持与核心种猪群基本同步的遗传进展。在育种体系中, 育种公司和国家育种方案结合, 各种猪扬之间通过人工授精建立遗传联系, 将核心群、繁殖群、商品群、屠宰场及人工授精的信息统一分析, 用于参考制定和随时调整育种方案。作为不同层次的种猪联合育种都面临如何建立有效场间遗传联系、实现真正意义上的优良遗传资源共享等关键问题。突破场间限制, 开展区域性的大规模种群杂交组合测试, 是筛选优良配套系所必须的。

Mathu等^[25]用畜群效应估计方差和协方差计算的群间关联率度量 2 个群体的遗传关联大小, 并利用加拿大国家联合育种体系中杜洛克、长白和大白猪的实际资料, 计算了 5 年间瘦肉生长和母猪繁殖率的平均群间关联率的变化, 总趋势是逐年增加。Hanoc等^[26]模拟研究了群间遗传联系对遗传改良的影响, 对 4 个群体 7 代的选择模拟试验研究表明, 在缺乏遗传联系的群体间的群间遗传差异是不可估的, 总的遗传进展有限; 在低遗传联系情况下场间差异估计准确性较低, 场间的遗传交流可以增加总的遗传进展, 特别是在遗传交流开始的早期世代; 当达到一定关联度时, 遗传评估准确性仍可提高, 但总的遗传进展增加并不大。王爱国等^[27, 28]介绍了关联指数和决定系数度量群间遗传关联的方法, 并用加拿大安大略省 4 个猪种的资料检验了这些度量指标, 认为决定系数法既组合了数据结构和信息量, 又考虑了预测误差方差和遗传变异性, 是判断遗传评估精度的一个好方法。

建立有效的场间遗传联系是遗传评估系统发挥效益的最重要因素, 参与遗传评估系统的种猪场必须给予高度的重视和积极的态度, 否则只须有场内遗传评估就可以了, 没有必要建立这样的遗传评估系统。为了长远的利益, 种猪场必须打破封闭竞争的狭隘意识, 积极主动地建立场间遗传联系, 形成一个单独种猪场不可能具备的育种群规模, 种猪的培育和生产更加需要形成规模才能获得遗传进展和经济效益。只有建立一个完善的遗传评估系统, 才有可能从整体上提高种猪的质量。

在考虑建立场间遗传联系时, 并不仅仅是选择效果, 还应考虑到育种成本、遗传变异的维持、长期育种效果以及疾病风险等因素, 育种目标性状的遗传力大小也对场间遗传联系大小有影响。Zhang等^[29]采用模拟方法研究场间遗传联系对种猪选择反

应时, 认为场间遗传交流达到 10%, 就能使场间遗传评估的准确性达到所需的要求。

杨泽明等^[30]对影响猪遗传评估效果的研究认为, 同其他畜禽相比, 猪的遗传评估可能更为复杂。一方面育种场的育种方案常常需要进行大规模评估, 不可避免地涉及到众多个体和不同的测定环境, 如基因型与环境的互作、小的同期同龄群体、迁移、优惠待遇、方差的异质性等。另一方面, 一般育种公司只拥有分布在有限数量核心群里的有限群体, 并给予较好的测定环境, 因此需要面对由于近交育种和遗传参数的不精确估计所带来的问题。

王爱国^[31]认为以人工授精为基础建立场间遗传联系是实现联合育种的基础, 并以河南省为例, 2003 年河南省畜牧局下发了“关于印发河南省种猪联合育种遗传联系推荐公猪名单的通知”, 各联合育种协作单位按照统一的要求, 采用人工授精方式进行基因交流, 建立遗传联系, 在 2005 年的经验总结中认为通过建立遗传联系, 大大促进了种猪育种的进展。

建立有效的场间遗传联系是为了在场间能够进行可靠的种猪遗传评估, 扩大种猪群选择的范围, 加快选择的遗传进展。但并不意味着, 在尽可能大的范围内要求群体遗传基础一致性加强, 或者说强求选择目标的雷同。实际上, 通过场间遗传联系提供的跨场间遗传评定和比较, 使参与遗传评估系统的各种猪场更加可以有自己特定的选择目标, 培育有自身特色的专门化品系, 只是由于各个场的种猪群规模限制, 育种资源群的遗传基础较窄, 通过大范围的遗传评估, 可以选择与自身目标接近的优良基因资源, 加快品系培育的速度, 同时也能够避免小群体育种的诸多弊端, 如被迫近交、选择极限等。

此外, 通过场间遗传联系的建立, 也为开展大规模的跨场间配合力测定提供了更加可靠的资源平台, 这是联合育种最大限度发挥作用所必须的。在评估体系中的猪场由于种种原因的限制, 要维持瘦肉型猪生产所需的所有高性能的专门化品系几乎是不可能的, 只能像目前这样使用自己所拥有的有限品系, 一旦市场需求发生变化, 或自身维持的品系出现问题, 只能被动的重新寻找、建立新的品系, 应变能力非常薄弱。针对这一缺陷, 参与遗传评估系统的各个猪场集中力量, 维持一二个有优势和特色的专门化品系, 则相对容易做到, 通过完善的遗传评估系统, 适时开展体系中各专门化品系间的配合力测定, 完全可以在更大范围内, 为自己的品系寻找到高效率的杂交配套组合。

5 猪育种组织体系

高效运行的育种组织体系是保持育种长期有效的基础。李千军等^[32]在总结各国猪育种组织体系时提到,在丹麦“国家育种计划”占主导地位,育种公司占很小份额。挪威的育种机制与丹麦相似,以“国家育种计划”为主,主要进行纯种选育,肥猪中仅 30% 是杂种。在核心场 100% 采用人工授精,商品场 85% 采用人工授精。荷兰从 1930 年建立中心后裔测定系统以后,育种机制一直与丹麦相似,只是更注意杂种的作用,培育专门化父系和专门化母系进行杂交配套生产。法国的“国家育种计划”起着重要作用,它提供的后备母猪和后备公猪分别占市场的 70% 和 85%,5 个中心性能测定站用于优秀种猪的测定,选择出的优秀公猪以人工授精方式传播,或者返回给育种者。育种值的估计采用动物模型 BLUP 跨场统一评定。尽管有 15% 的核心母猪归私人育种者所有,但重要的是都参与到猪生产链中来。加拿大的国家育种组织为育种者提供测定设备和育种值估计服务,中心性能测定站、人工授精和跨场估计育种值是其纯种选育的关键措施。英国的“国家育种计划”始于 1954 年,到 20 世纪 60 年代转为个体性能测定,与此同时育种公司进入市场,到 1968 年育种公司占领市场的 20%,20 年后育种公司占领市场的 100%,种猪被育种公司控制,很少有国家计划的参与。德国 20 世纪 70 年代初曾建立“联邦杂种计划”,在全国较大范围内强化了杂交配合力测定,杂交后备母猪的测定数量占市场的 25%,杂交终端父本超过 5% 的比例。在美国,则各种育种组织和育种方案并存,但都不稳定。杂交育种公司似乎在市场中的份额有上升趋势。在澳大利亚,4 家育种公司占市场的 60%,私人企业占 25%,国家控制占 15%,育种值估计用 PGBLUP 程序进行^[33 34]。

郭万库等^[35]论述猪育种组织结构时认为,现代的纯种猪育种和纯种猪育种协作组不但包含育种目标、育种值估计和纯种生产,还包括杂种父母的生产和屠宰场的生产,其目的是为最终的商品杂交进行生产,其中纯种猪育种协作组,又称为多组核心群。按核心群后备猪的来源,育种结构有开放式核心群育种和封闭式核心群育种 2 种形式,即如果核心群后备猪可以从本育种结构的其他层次或该育种结构之外选用,则称之为开放式核心群育种,否则称为封闭式核心群育种。按着区域大小,可分为育种公司、地区性育种协作组、国家育种方案及国际育种方案。中国猪育种过程中,大都采用了典型的金字塔式育

种结构,即由核心群、繁殖群和商品群等组成,但这种结构不完整,各层之间不是很清晰,其中多数核心群选育采用封闭式育种。建议我国猪育种应采用更科学的猪育种结构,除了少数大的种猪场和猪育种公司采用基本的金字塔结构外,更应将数量众多的种猪场联合起来,成立各品种或者多品种区域性或全国性的猪联合育种组,各场之间通过人工授精建立遗传联系,采用分散核心群育种的育种结构,即该育种结构由各种猪场组成的核心群、繁殖群、商品群、测定站、种公猪站、屠宰场组成,为缩短改良时距,可采用开放式核心群育种并调整育种结构的层次和各层次的规模。

鲁绍雄等^[36]研究了多点核心群联合育种的方法,即通过人工授精或种猪交换在多个分散核心群间建立一定的遗传联系,各核心群具有相同的育种目标并实施相同的育种制度,以进行协作育种的一种育种组织形式。在联合育种组内,每个成员场就相当于一个核心群。这一育种组织形式不仅可以提高选择强度、充分发挥 BLUP 方法选择准确的优点,同时还有效地避免因群体太小而导致的被迫近交,提高选育的效果和育种效率。计算机模拟研究的结果也表明,联合育种方案可以比非联合育种获得更大的遗传进展、更小的近交增量,同时还能更有效地应用育种新技术。

齐志明等^[37]认为联合育种方式有紧密联合育种、松散联合育种等。紧密联合育种是指在育种场间经济联系与遗传联系方面采用紧密联系形式,进行联合攻关育种;松散是与紧密相对应而言,其基本原则是各育种场间经济是独立的,建立松散协作组织,由协作组制定出一测定标准和指标,仍然采用各单位原有生产方式和经营模式,逐渐探索一条适合本地区经济联系和遗传联系合作育种方式与方法。

Knap 等^[38 39]认为猪育种已发展成为一种技术密集性的行业,育种公司在养猪生产“金字塔”的各层次广泛利用先进的电子设备提高性状度量的准确性,采用数据库技术和复杂的统计分析方法制定选择指标,通过分子遗传标记进行标记辅助选择或导入,在猪育种技术研究和开发方面育种公司应起主要作用。

因此,建立高效运转的育种组织体系是发挥遗传评估系统作用的基础,要完成这一工作,商业化的种猪育种公司应该发挥重要的作用。需要参与评估体系的各种猪场打破狭隘、落后的育种观念,重视场间遗传联系的建立,形成区域性的“超级”育种核心群。具有相对独立性的育种公司以技术服务体系为

核心, 建立商业化运作的遗传评估系统和网络, 提供人工授精、基因检测等新技术服务。随着社会发展和技术的进步, 育种公司将延伸到猪肉生产的全过程, 不仅从育种场获得常规的育种性能测定记录, 而且可以从屠宰过程获得肉质性能、商品价值等方面的数据, 给育种决策提供新的反馈信息, 建立更加先进、完善的猪育种计划^[40-41]。

6 中国猪育种未来的策略

熊远著^[7]在论述我国猪育种的发展与展望时指出, 21世纪瘦肉型猪的育种目标是在保持和适度提高瘦肉率的前提下, 继续提高瘦肉组织的生长速度和饲料利用率, 重点加强繁殖性状、肉质的选择。应用分子数量遗传学理论, 采用分子技术、计算机技术和系统工程技术, 挖掘和利用中国猪种繁殖力高、肉质好的优良基因, 用标记辅助选择和辅助渗入等方法与常规育种相结合, 培育出新型高产优质新品种(系)。应进一步完善“以现场测定为主, 集中测定为辅”的测定制度, 健全种猪监测管理体系和信息系统, 开展遗传评估和联合育种。

经济全球一体化带来的国际竞争压力越来越大, 未来的竞争将是高新技术与经济实力的综合较量。猪育种改良已进入一个新的阶段, 需要在个体基因型大规模识别基础上, 综合利用个体和亲属各种表型和基因型信息进行个体遗传评估, 利用一些优良个体通过人工授精实现跨场间使用, 建立场间遗传联系, 实现资源共享的区域性联合育种。主要形式有2种: 有条件的大型种猪企业作为龙头种猪育种公司, 将所覆盖的中小养猪户从育种、养猪生产、屠宰加工到销售形成紧密的联合体; 对于我国广泛分布的中小型养猪户和企业, 迫切需要以育种技术为核心的中介服务机构, 从性能测定、种猪评估和选择、优良公猪精液、生产管理等提供全方位、及时的技术服务, 形成以技术为纽带的松散育种联合体。

因此, 在未来10年内, 中国猪育种的总体策略应该是: 充分利用已有的优良种猪资源, 在种猪生产和研究的优势地区建立区域性联合育种体系, 积极开展分子育种与遗传评估有机结合的现代猪育种技术应用研究, 推动公司化育种体系建立, 实现种猪质量的快速、可持续遗传改良, 达到建立能够长期进行瘦肉型种猪持续改良的繁育体系, 实现“以种猪选育为基础, 核心种群猪自给, 有计划地少量引种, 保持国际同期种猪水平”的总体目标^[19]。

围绕这一目标, 农业部在2004年及时启动了“猪遗传评估技术的引进与中国优秀种猪核心群繁

育体系的持续发展”的重大科研计划项目, 在全国范围内组织精干力量, 开展区域性和全国性的种猪遗传评估和联合育种工作, 在多渠道引进的优良种猪资源的基础上, 以消化、吸收、创新和推广为主体, 新种质资源引进为辅, 积极创建具有自我发展潜力的国家种猪遗传评估系统和瘦肉型猪育种体系, 需要重点开展以下5个方面的研究:

(1) 建立区域性和国家级联合育种体系。采用区域性联合育种的方式, 在几个主要种猪生产地区, 如北京、华南、华中、西南等地, 选择有条件的技术依托单位, 组织有关养猪企业共同建立联合育种体系, 加强以区域性中心公猪站为纽带的种猪遗传联系的建立, 选育中国自己的优质瘦肉型猪专门化品系, 利用地方资源选育高繁殖力和肉质优良新品系。在此基础上, 逐步形成国家级的联合育种体系。

(2) 优质瘦肉型种猪遗传评估体系建立。利用现代信息技术建立标准化的种猪信息库, 开发基于“浏览器/Web服务器/数据库系统”三层网络体系结构的网上种猪遗传评估系统, 推动大、中、小型种猪场遗传联系的建立, 建立跨场间遗传联系, 提高场内和跨场间遗传评估准确性, 开展区域性跨场间遗传评估、遗传参数估计、经济加权系数的研究。

(3) 中国瘦肉型猪新品系和配套系培育。在建立国家级或区域性联合育种体系基础上, 开展跨场间新品系的培育与配套系选育, 达到资源合理利用, 优势互补的目的。实现大规模跨场间种猪配合力测定, 筛选适合规模饲养、适应不同生产条件的高效杂交组合、区域性优化组合配套系。

(4) 建立优质瘦肉型种猪可持续的高效繁育体系。建立“引进种猪资源核心群→育种核心群→种猪扩繁群→种猪生产→商品肉猪生产”的种猪繁育生产体系, 探索在现有种猪生产体系中, 以大型养猪企业为依托的公司化育种体系, 通过“技术中心+育种公司+种猪公司+种猪专业户+养猪户”的新模式, 协调不同功能群生产者的利益, 开展长期可持续种猪育种改良。

(5) 育种新技术的大规模应用。现代生物技术的发展为猪的育种提供了全新的途径, 以大规模基因检测为基础的分子育种技术已广泛应用, 达到商业化应用的主基因和遗传标记已达数十个, 大大提高了传统选择方法的准确性和效率, 也为早期选择、限性性状选择、间接选择提供了更为有效的手段, 分子生物学技术对杂种优势预测和利用也已呈现出良好的前景。在联合育种体系内有效地开展大规模的育种新技术应用, 将彻底改变中国猪育种的被动落

后局面。

采取的主要措施有:①以现有引进外种猪资源群,按照区域、来源和特点,建立有遗传联系的资源共享体系;②在实现资源共享基础上,建立不同形式的区域性联合育种体系;③按照“全国种猪遗传评估方案(试行)”统一性能测定和遗传评估方法,开展联合育种;④在国内种猪主产区建立育种技术中心,配合部级种猪质量监督检查测试中心,配备必要的基因检测设备,将分子育种技术应用于猪的育种;⑤建立“引进种猪资源核心群→育种核心群→种猪扩繁群→种猪生产→商品肉猪生产”的种猪繁育生产体系;⑥探索在现有种猪生产体系中,以大型养猪企业为依托的公司化育种体系,通过“技术中心+育种公司+种猪公司+种猪专业户+养猪户”的新模式,协调不同功能群生产者的利益,开展长期可持续种猪育种;⑦建立区域性公猪站,通过人工授精技术建立长期、稳定的场间遗传联系,快速推广优秀种猪基因;⑧在不同区域进行大规模不同遗传来源品系种猪的配合力测定,筛选适合规模饲养、适应不同生产的高效杂交组合、配套系;⑨研究标记辅助选择、标记辅助导入等分子育种技术在种猪繁殖力、肉质等经济性状选择中的应用,开发大规模、高通量、快速基因诊断技术,通过分子育种与遗传评估技术的有机结合,实现快速、高效的种猪遗传改良。

联合育种是加快种猪遗传改良、提高猪的育种效益的根本途径,这是现代动物育种理论的精髓,也是世界养猪业发达国家的共同经验。在中国实施猪的联合育种已成为有关领导、专家和广大猪育种实际工作者的共识,是中国猪育种的必然发展趋势。开展联合育种,需要构建一些技术平台,其中全国种猪联合遗传评估中心是开展联合育种的核心技术平台。全国种猪信息中心信息化建设的总体目标是:综合运用现代种猪育种原理、先进的 IT 技术(计算机网络、数据库、Internet 等)、系统工程和育种学家实践经验,按照有限目标与有效实现的原则,用 2~3 年时间建立一个全国最大的种猪档案中心、育种服务中心、育种知识咨询中心,具体包括:①建立全国范围内可共享、最完整的种猪档案库;②开发系统的种猪育种分析、遗传评估软件;③实现全国范围内的联合育种;④形成国内专业化的种猪育种资讯及咨询服务的门户网站。

在 21 世纪要保证中国养猪业的健康稳步发展,必须立足于瘦肉型种猪供种的本土化,需要合理、充分利用中国已引入的国外优秀种猪资源,通过有效地育种组织体系,应用现代分子育种、遗传评估和联

合育种技术,建立优秀种猪核心群持续自我供种繁育体系,保证主要生产性能达到国际同期先进水平。目前,从决策者、育种专家和养猪企业经营者都有了基本的共识,即充分利用中国已经拥有的丰富种猪资源,建立规范的场内性能测定和区域性种猪遗传评估系统,综合应用分子育种和遗传评估技术,进而实现区域性联合育种,是在 21 世纪彻底改变中国种猪长期依赖进口的必由之路。

致谢:本研究是全国畜牧兽医总站畜禽品种资源处刘海良副处长、中国农业大学张勤和王爱国博士、四川农业大学李学伟博士、浙江大学傅衍博士、上海交通大学潘玉春博士、中国农业科学院畜牧研究所王立贤博士、华中农业大学雷明刚博士、华南农业大学李加琪、王翀和张豪博士、广东省农业厅畜牧技术推广总站刘小红博士等共同努力的结果,借此对他们的辛勤工作致以诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 吴常信. 我国猪育种的展望[J]. 中国畜牧杂志, 1997 33(3): 3-5
- [2] 吴常信, 鲁绍雄. 现代猪育种技术[J]. 中国畜牧杂志, 2003 39(1): 41-42
- [3] 王守贵. 新世纪的我国养猪业[J]. 动物科学与动物医学, 2001 19(5): 3-4
- [4] 季海峰. 世界猪育种的发展趋势[J]. 北京农业科学, 1998 16(3): 37-40
- [5] 陈瑶生, 刘海良, 刘小红, 等. 我国种猪遗传评估与联合育种进展与策略[A]. 陈瑶生. 中国动物遗传育种研究进展[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003 3-11
- [6] 王爱国. WTO 与我国养猪业的可持续发展[J]. 当代畜牧, 2002 (3): 1-4
- [7] 熊远著. 瘦肉型猪育种的发展及展望[J]. 中国工程科学, 2000 2(9): 42-46
- [8] 李琼华. 21 世纪猪的育种工作发展趋向[J]. 广西畜牧兽医, 2003 19(2): 71-72
- [9] 赖以斌. 猪育种进展及其发展趋势[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2000 (4): 41-43
- [10] 陈瑶生. 瘦肉型猪育种新技术策略[J]. 广东畜牧兽医科技, 2002 27(4): 3-7
- [11] Danbred [EB/OL]. <http://www.danbred.dk/> 2005
- [12] CCSI [EB/OL]. <http://www.ccsi.ca/> 2005
- [13] STAGES STAGES National Genetic Evaluation [EB/OL]. <http://www.ansc.purdue.edu/stages/> 2005
- [14] 陈瑶生, 李加琪, 王翀. 现代猪育种新技术和应用策略[J]. 广东养猪业, 2001 (6): 6-10
- [15] 陈瑶生, 李加琪. 种猪遗传评估及其应用[J]. 广东养猪业, 1999 (4): 3-6
- [16] 陈瑶生, 王翀, 李加琪, 等. 经济全球化条件下的猪

种遗传改良及可持续发展 [J]. 科技导报, 2005 23 (3): 48—51.

[17] 刘海良, 薛明, 陈瑶生, 等. 中国种猪遗传评估现状及存在问题 [J]. 当代畜牧, 2002 (11): 21—23

[18] 李加琪, 刘小红, 陈瑶生, 等. 瘦肉型种猪中心测定及其性能分析研究 [J]. 中国畜牧杂志, 2002 38(3): 21—22

[19] 刘小红, 李加琪, 陈瑶生. 广东规模化猪场长白猪选育遗传分析 [A]. 陈瑶生. 中国动物遗传育种研究进展 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003 157—161.

[20] 王翀, 余丽明, 陈健雄, 等. 瘦肉型猪母系大白猪繁殖性能的选育 [A]. 陈瑶生. 中国动物遗传育种研究进展 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003 153—156

[21] 吴珍芳, 王青来, 张豪, 等. 杜洛克猪部分生产性状遗传参数估计 [A]. 陈瑶生. 中国动物遗传育种研究进展 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003 133—136

[22] 彭中镇. 再议当前场内种猪的测定与选择 [A]. 陈瑶生. 中国动物遗传育种研究进展 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003 12—17.

[23] 彭中镇. 改进外种猪育种工作的几点建议 [A]. 李辉. 中国动物遗传育种研究进展 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005 3—8

[24] 王楚端. 以人工授精推进我国猪联合育种 [J]. 动物科学与动物医学, 2003 20(8): 7—9

[25] MAIHUR P K, SULLIVAN B P, CHESNAIS J P. Measuring connectedness: concept and application to a large industry breeding Programs [A]. The Proceeding of 7 th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, Communication Vol 32 [C]. 2002 545—548

[26] HANOCQ E, BOICHARD D, FOULLEY J L. A simulation study of the effect of connectedness on genetic trend [J]. Genet Sel Evol 1996 28 67—82

[27] 王爱国. 混合线性模型下猪群间遗传联系的度量 [J]. 遗传, 2000 22(5): 295—297.

[28] 王爱国, 李力, 梅克义, 等. 加强联合育种提高种猪质量 [J]. 中国畜牧杂志, 2004 40(3): 5—7.

[29] ZHANG H, LI J Q, WANG C et al. Study on the measures of connectedness between herds [J]. Agricultural Sciences in China 2005 4(11).

[30] 杨泽明, 熊远著, 喻传洲. 影响猪遗传评估效果的主要因素研究 [J]. 华中农业大学学报, 2001 20(6): 598—602

[31] 王爱国. 建立场间遗传联系实现猪的联合育种 [J]. 养殖与饲料, 2003 (10): 10—13

[32] 李千军, 穆淑琴. 世界猪育种概况和发展趋势 [J]. 甘肃畜牧兽医, 2001 (3): 36—38

[33] 王志刚. 美国的种猪育种体系 [J]. 世界农业, 1999 (5): 14—15

[34] 张保军, 孙超, 张丽娟, 等. 猪育种趋势及其研究进展 [J]. 家畜生态, 2002 23(4): 45—48

[35] 郭万库, 师守堃, 鲁绍雄. 我国猪育种结构及发展的探讨 [J]. 中国畜牧杂志, 2000 36(5): 49—51.

[36] 鲁绍雄, 吴常信. 采用多点核心群联合育种促进引进种选育提高的探讨 [J]. 中国畜牧杂志, 2001 37 (5): 3—4

[37] 齐志明, 孙德林, 周海深. 试论市场经济条件下联合育种 [EB/OL]. http://www.chinaswine.org.cn/ 2003

[38] KNAP P W, van der STEEN H A M, PLASTOW G S. Developments in pig breeding and the role of research [J]. Production Science, 2001 72 43—48

[39] KNAP P W. Internationalisation of pig breeding companies [A]. The Proceeding of 6 th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production Vol 26 [C]. 1998 143—146

[40] 朱猛进, 刘榜, 彭中镇. 我国养猪业的特点及若干思考 [J]. 中国畜牧兽医, 2005 32(6): 24—27.

[41] 吴常信. 有关我国猪育种几个问题的探讨 [J]. 中国畜牧杂志, 2005 41(1): 3—5

【责任编辑 李晓丹】