

Anatohistology
of Banna Minipig
Inbred-lines

版纳微型猪
近交系解剖组织学

主编 朱星红 苏炳银 应大君



高等教育出版社
Higher Education Press

版纳微型猪近交系解剖组织学

主 编 朱星红 苏炳银 应大君
副主编 曾养志 李振强 糜建红
孙建森 张吉强

编写人员 (按姓氏笔划为序)

刘光久	朱星红	朱楚红	孙建森
应大君	陈卫军	陈德英	张 伟
张吉强	宋 林	寿建国	苏炳银
李振强	姚 远	董世武	曾养志
曾 嵘	谭立文	潘伟荣	糜建红

高等教育出版社

内容提要

本书提供了国际上第一例纯系微型猪形态结构的基本论述、实物图例及必要参数,为大型哺乳类实验动物的应用和异种组织器官移植的开发研究奠定了必要的基础。全书分2篇共27章,并配有138幅精选的实物照片,旨在理论阐述和实物图版相结合,重在实际应用。本书使用的名词源于1973年国际兽医解剖名词委员会出版的《兽医解剖学名词》。

本书的读者对象是生物学、医学、农学等学科领域的科研人员、研究生以及从事生物高科技和异种移植基础研究和临床实验人员。

图书在版编目(CIP)数据

版纳微型猪近交系解剖组织学 / 朱星红, 苏炳银, 应大君主编. — 北京: 高等教育出版社, 2004.3

ISBN 7-04-013916-2

I. 版... II. ①朱... ②苏... ③应... III. 猪-动物解剖学: 组织学 IV. S828.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第114291号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 蓝马彩色印刷中心

开 本 850 × 1168 1/16
印 张 19.25
字 数 550 000

版 次 2004年3月第1版
印 次 2004年3月第1次印刷
定 价 49.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

随着生物技术的发展,异种组织器官移植的研究已成为热点课题。进行异种组织器官移植,首先需要纯系的实验动物品系。目前虽然已有纯系的家兔、大鼠、小鼠等小型哺乳动物品系,但与人类生理内环境相差甚远。猪的正常解剖生理、疾病发生与发展转归等方面与人类相似,材料较易获得,是理想的异种组织器官移植的供体。云南农业大学曾养志教授培育的版纳微型猪近交系,历时24年,经过20世代严格的亲子或全同胞交配,培育成近交系数高达98.6%的微型猪,成功地建立了与标准的小型啮齿类动物(如鼠)基因纯合程度相同的大型哺乳类实验动物品系。版纳微型猪近交系成为国际上第一个达到标准的大型哺乳动物近交系,是属于我国原始创新并拥有自主知识产权的重大科技成果。由于近交系动物基因纯合,遗传背景清楚,可为器官移植、新药试验、转基因动物及生命科学其他领域提供灵敏度高、特异性强、接近人类的大型哺乳类纯系实验材料。为了版纳微型猪近交系今后在异种移植生物医学领域作为大型纯系哺乳类实验动物的应用,我们在解剖、观测版纳微型猪近交系的基础上,编写了这本《版纳微型猪近交系解剖组织学》,希望能为广大科技工作者提供有关形态学资料。

本书着重于版纳微型猪近交系的系统解剖学和组织学,共分2篇27章。云南农业大学曾养志教授撰写了本书的绪论,解剖学和组织学的内容由第三军医大学朱星红、苏炳银等多位教授撰写和完成。本书附有138幅精选的实物照片,由第三军医大学孙建森、陈德英、姚远等同志制备和拍摄。应大君教授和曾养志教授还承担了全书的总校和审订工作。本书使用的名词源于1973年的国际兽医解剖名词委员会出版的《兽医解剖学名词》。云南农业大学提供了解剖研究用的版纳微型猪近交系动物,第三军医大学的其他许多同志也为本书的顺利完成付出了艰苦的劳动。

由于我们的水平有限,时间仓促,书中可能存在不少缺点和错误,欢迎读者批评指正。

编者

2003年9月于重庆

目 录

绪论	1	(二) 胸廓的连结	33
一、引言	1	二、头部关节	34
二、猪近交系培育简史	2	三、前肢骨的连结	34
三、版纳微型猪近交系的培育及研究进展	2	(一) 肩关节	34
四、版纳微型猪近交系现有亚系及遗传特征	4	(二) 肘关节	34
五、版纳微型猪近交系的基因纯合度	5	(三) 腕关节	35
六、版纳微型猪近交系的解剖学和组织学	5	(四) 掌骨间关节	35
		(五) 指关节	35
第一篇 版纳微型猪近交系解剖学		四、后肢骨的连结	36
第一章 骨学 osteology	7	(一) 荐髂关节	36
一、躯干骨	7	(二) 骨盆	36
(一) 椎骨	7	(三) 髋关节	38
(二) 肋骨及肋软骨	17	(四) 膝关节	39
(三) 胸骨	19	(五) 胫腓关节	40
二、头骨	19	(六) 跗关节	40
(一) 颅骨	19	(七) 趾关节	41
(二) 面骨	22	第三章 肌学 myology	42
三、前肢骨	24	一、皮肤	42
(一) 肩胛骨	24	(一) 面皮肤	43
(二) 肱骨	25	(二) 颈皮肤	43
(三) 前臂骨	26	(三) 肩臂皮肤	43
(四) 腕骨	27	(四) 胸腹皮肤	43
(五) 掌骨	28	二、头部肌	43
(六) 指骨	28	(一) 咀嚼肌	43
四、后肢骨	29	(二) 面肌	44
(一) 髌骨	29	三、躯干肌	45
(二) 股骨	30	(一) 脊柱肌	45
(三) 小腿骨	31	(二) 颈肌	46
(四) 跗骨	32	(三) 胸壁肌	48
(五) 跖骨	32	(四) 腹壁肌	49
(六) 趾骨	32	四、前肢肌	50
(七) 髌骨	32	(一) 肩带肌	50
第二章 关节学 arthrology	33	(二) 肩关节肌	51
一、躯干骨的连结	33	(三) 肘关节肌	51
(一) 脊柱	33	(四) 腕关节肌	52

(五) 指关节肌.....	52	(三) 鼻旁窦.....	71
五、后肢肌.....	53	二、喉.....	72
(一) 髌关节肌.....	53	(一) 喉软骨.....	72
(二) 膝关节肌.....	55	(二) 喉的连结.....	73
(三) 跗关节肌.....	55	(三) 喉肌.....	73
(四) 趾关节肌.....	56	(四) 喉腔.....	73
第四章 消化系统 alimentary system	58	三、气管与主支气管.....	74
一、口腔.....	58	四、肺.....	75
(一) 唇.....	58	(一) 肺的形态.....	75
(二) 颊.....	58	(二) 肺内支气管.....	76
(三) 硬腭.....	58	(三) 肺的血管和神经.....	76
(四) 软腭.....	60	五、胸膜与纵隔.....	76
(五) 舌.....	60	(一) 胸膜.....	76
(六) 齿.....	61	(二) 纵隔.....	77
(七) 唾液腺.....	62	第六章 泌尿系统 urinary system	78
二、咽.....	63	一、肾.....	78
三、食管.....	64	(一) 肾的形态和位置.....	78
四、胃.....	64	(二) 肾的构造.....	79
(一) 胃的形态与位置.....	65	(三) 肾的被膜.....	79
(二) 胃壁的结构.....	65	(四) 肾的血管.....	80
五、小肠.....	65	二、输尿管.....	80
(一) 十二指肠.....	65	三、膀胱.....	81
(二) 空肠和回肠.....	65	(一) 膀胱的位置和形态.....	81
六、大肠.....	65	(二) 膀胱壁的构造.....	81
(一) 盲肠.....	65	四、尿道.....	81
(二) 结肠.....	66	第七章 公猪生殖系统 male reproductive system	82
(三) 直肠.....	66	一、睾丸.....	82
七、肛门.....	67	二、附睾.....	83
八、肝.....	67	三、输精管和精索.....	83
(一) 肝的外形.....	67	(一) 输精管.....	83
(二) 肝的位置与毗邻.....	69	(二) 精索.....	83
(三) 肝的韧带.....	69	四、阴囊.....	83
(四) 肝外胆道.....	69	(一) 皮肤.....	83
九、胰.....	69	(二) 肉膜.....	83
十、腹膜.....	70	(三) 肉膜下筋膜.....	83
(一) 网膜.....	70	(四) 提睾肌.....	83
(二) 系膜.....	70	(五) 鞘膜.....	83
第五章 呼吸系统 respiratory system	71	五、副性腺.....	84
一、鼻.....	71	(一) 精囊腺.....	84
(一) 外鼻.....	71	(二) 前列腺.....	84
(二) 鼻腔.....	71		

(三) 尿道球腺·····	84	(四) 淋巴导管·····	113
六、阴茎·····	84	二、淋巴结·····	114
七、尿生殖道·····	85	(一) 头颈部和前肢的淋巴结·····	114
八、包皮·····	85	(二) 胸壁和胸腔的淋巴结·····	114
第八章 母猪生殖系统 female reproductive system ·····	86	(三) 腹壁和骨盆壁的淋巴结·····	115
一、卵巢·····	86	(四) 腹腔脏器的淋巴结·····	116
(一) 卵巢的形态和位置·····	86	(五) 后肢的淋巴结·····	116
(二) 卵巢的系膜和韧带·····	86	三、脾·····	117
二、输卵管·····	86	四、胸腺·····	118
三、子宫·····	87	第十一章 神经系统 nervous system ·····	120
(一) 子宫的形态·····	87	一、中枢神经·····	120
(二) 子宫的位置·····	87	(一) 脊髓·····	120
(三) 子宫的韧带·····	87	(二) 脑·····	121
四、阴道·····	87	(三) 脑的被膜·····	126
五、阴道前庭·····	87	(四) 脑的血管·····	126
(一) 前庭大腺·····	88	二、周围神经·····	128
(二) 前庭小腺·····	88	(一) 脑神经·····	128
(三) 前庭球·····	88	(二) 脊神经·····	132
六、阴门·····	88	(三) 自主神经·····	138
第九章 心血管系统 cardiovascular system ·····	89	第十二章 内分泌系统 endocrine system ·····	140
一、心·····	89	一、垂体·····	140
(一) 心的位置与外形·····	89	(一) 垂体的位置·····	140
(二) 心腔·····	91	(二) 垂体的分区·····	140
(三) 心的构造·····	93	二、松果体·····	140
(四) 心传导系·····	94	三、甲状腺·····	140
(五) 心的血管·····	94	(一) 位置·····	140
(六) 心包·····	94	(二) 形态·····	141
二、动脉·····	94	四、甲状旁腺·····	141
(一) 肺循环的动脉·····	94	五、肾上腺·····	141
(二) 体循环的动脉·····	95	(一) 位置·····	141
三、体循环的静脉·····	108	(二) 形态·····	141
(一) 前腔静脉系·····	108	六、胸腺·····	141
(二) 左奇静脉系·····	109	第十三章 感觉器官 sense organ ·····	142
(三) 心静脉系·····	109	一、视觉器官·····	142
(四) 后腔静脉系·····	109	(一) 眼球·····	142
第十章 淋巴系统 lymphatic system ·····	113	(二) 眼的附属器官·····	143
一、淋巴管·····	113	二、位听器官(耳)·····	144
(一) 毛细淋巴管·····	113	(一) 外耳·····	144
(二) 淋巴管·····	113	(二) 中耳·····	145
(三) 淋巴干·····	113	(三) 内耳·····	145
		三、被皮·····	146

(一) 皮肤·····	146	(三) 交感神经节·····	162
(二) 皮肤的附属器官·····	146	第五章 循环系统 circular system ·····	164
(三) 蹄和枕·····	146	一、血管的组织结构·····	164
第二篇 版纳微型猪近交系的组织学		(一) 动脉·····	164
第一章 皮肤 skin ·····	149	(二) 毛细血管·····	165
一、表皮·····	149	(三) 静脉·····	166
二、真皮·····	150	二、心脏的组织结构·····	166
三、皮下组织·····	150	三、淋巴管系统·····	167
四、皮肤的附属结构·····	150	四、血液·····	167
第二章 软骨与骨 cartilage and bone ·····	152	(一) 血浆·····	167
一、软骨·····	152	(二) 血细胞·····	168
(一) 透明软骨·····	152	第六章 免疫系统 immune system ·····	170
(二) 纤维软骨·····	152	一、胸腺·····	170
(三) 弹性软骨·····	153	(一) 胸腺实质的结构·····	170
二、骨·····	153	(二) 胸腺的功能·····	172
(一) 骨组织的结构·····	153	二、骨髓·····	172
(二) 长骨·····	153	三、淋巴结·····	172
三、骨的发生·····	154	四、脾·····	173
(一) 膜内成骨·····	154	第七章 内分泌系统 endocrine system ·····	175
(二) 软骨内成骨·····	154	一、甲状腺·····	175
第三章 肌肉 muscle ·····	155	二、甲状旁腺·····	176
一、骨骼肌·····	155	三、肾上腺·····	176
(一) 骨骼肌纤维的光镜结构·····	155	四、垂体·····	177
(二) 骨骼肌纤维的超微结构·····	156	(一) 腺垂体·····	177
二、心肌·····	156	(二) 神经垂体及其与下丘脑的关系·····	178
(一) 心肌纤维的光镜结构·····	156	(三) 腺垂体与其他内分泌腺的关系·····	178
(二) 心肌纤维的超微结构·····	156	五、松果体·····	179
三、平滑肌·····	157	六、弥散神经内分泌系统·····	179
(一) 平滑肌纤维的光镜结构·····	157	第八章 消化管 digestive tract ·····	180
(二) 平滑肌纤维的超微结构·····	157	一、食管·····	180
第四章 神经系统 nervous system ·····	158	二、胃·····	181
一、脊髓·····	158	(一) 黏膜·····	181
(一) 脊髓灰质·····	158	(二) 黏膜下层·····	182
(二) 脊髓白质·····	159	(三) 肌层·····	183
二、大脑皮质·····	159	(四) 外膜·····	183
三、海马·····	160	三、小肠·····	183
四、小脑皮质·····	160	(一) 黏膜·····	183
五、脑脊神经和植物性神经·····	161	(二) 黏膜下层·····	184
(一) 神经·····	161	(三) 肌层·····	184
(二) 脑脊神经节·····	162	(四) 外膜·····	184
		第九章 消化腺 digestive gland ·····	185

一、大唾液腺·····	185	(一) 输尿管·····	197
(一) 唾液腺的一般结构·····	185	(二) 膀胱·····	197
(二) 三种唾液腺的结构特点·····	185	第十二章 公猪生殖系统 male reproductive system ·····	198
二、胰腺·····	186	一、睾丸·····	198
(一) 外分泌部·····	186	二、附睾·····	199
(二) 内分泌部·····	187	三、输精管·····	199
三、肝·····	187	四、附属腺·····	199
(一) 肝小叶·····	188	五、阴茎·····	200
(二) 肝门管区·····	189	第十三章 母猪生殖系统 female reproductive system ·····	201
(三) 肝内血液循环·····	189	一、卵巢·····	201
第十章 呼吸系统 respiratory system ·····	190	(一) 卵泡的发育与成熟·····	201
一、气管和支气管·····	190	(二) 排卵·····	202
(一) 气管·····	190	(三) 黄体的形成和功能·····	203
(二) 支气管·····	191	(四) 卵泡闭锁·····	203
二、肺·····	191	二、输卵管·····	203
(一) 肺导气部·····	191	三、子宫·····	204
(二) 肺呼吸部·····	192	四、阴道·····	205
(三) 肺间质和肺巨噬细胞·····	193	五、乳腺·····	206
(四) 肺的血管、淋巴管和神经·····	193	第十四章 感觉器官 sense organ ·····	207
第十一章 泌尿系统 urinary system ·····	194	一、眼·····	207
一、肾·····	194	(一) 眼球壁·····	207
(一) 一般构造·····	194	二、耳·····	209
(二) 肾单位·····	194	图片目次 ·····	212
(三) 集合小管系·····	196	英汉名词对照 ·····	214
(四) 球旁复合体·····	196	汉英名词对照 ·····	257
(五) 肾间质·····	197		
(六) 肾的血管、淋巴管和神经·····	197		
二、排尿管道·····	197		

绪 论

一、引言

1900年,孟德尔遗传原理被重新发现,从而建立了现代遗传学的理论。美国玉米遗传学创始人之一的G.H.Shull及其同事对玉米自交系的研究和“杂种优势”理论的提出,以及S.Wright对豚鼠持续30个世代的近交实验,对近交的遗传学原理及遗传学效应都作出了巨大贡献。

应用现代遗传学理论培育成功并大面积应用于生产的杂交玉米和杂交高粱,大大激励了动物遗传学家对家养动物近交系实验的兴趣。1920年以后,美国即开始了猪的大规模近交实验。第二次世界大战结束后的英国也相继开展了猪和其他家养动物的近交和杂交实验。1936年,美国农业部组织了10个州的协作试验,从不同品种中产生并测验了110个以上的近交系,近交系数曾经分别达到30%~60%。到20世纪70年代中期,个别近交系的近交系数已经高达75%(J.F.Lasley, 1978)。1950年,英国的动物育种研究组织(ABRO),用英国大白猪等品种组成88个全同胞群进行近交试验。以上这些实验,都表现出严重的近交衰退,虽然不同的近交系其严重程度不一样,尤其是采用全同胞交配时,第一代即表现出近交衰退,连续第二代近交,退化更为严重。因此不得不淘汰许多严重退化的品系,有的改用半同胞或远亲交配,以减缓近交程度的方法来保持一些较好的品系。

动物近交系培育的目的之一,就是希望通过近交,使近交系的基因达到高度纯合而形成“纯系”,然后再用纯系进行系间杂交而获得杂种优势。这已在玉米、高粱和我国的杂交水稻等作物上获得成功并大面积推广应用于生产。然而,在家养动物的近交实验中,却因出现严重的近交衰退而无实质性进展,迄今未见世界上有应用于生产实践的报道。

培育动物近交系的另一目的,是作为生物医学实验的纯系动物。随着实验动物科学的发展,为了减少实验动物个体之间的遗传差异,要求提供各种不同基因型的近交纯系动物作为实验模型。因为近交系动物的基因高度纯合,遗传背景清楚,从而能够减少在实验中由于个体遗传差异而造成的误差。基因高度纯合的近交系实验动物,就像物理学研究中的精密仪器和化学反应中的分析纯试剂那样,能为生物医学及生命科学领域的研究提供灵敏度高、特异性强和重复性好的实验材料。

1909年,C.Little在研究小鼠的毛色基因时,首先采用近亲繁殖培育成功小鼠近交系,这是人类历史上第一个实验动物近交系。以后,许多国家先后培育成功了不同的近交品系。现在,全世界使用的小鼠近交系已达450多种。最高的近交系小鼠已繁殖到210多代。除小鼠外,还开展了大鼠、中国地鼠、金黄地鼠和家兔等近交系的培育。这些啮齿类实验动物近交系的培育成功,已广泛应用于医学、药学、生态学、生物学等多学科的研究,新近也用于数量性状位点基因作图和异种器官移植等的基础研究,小鼠近交系已成了生命科学研究中不可缺少的实验动物。在上个世纪的生命科学研究中,基因高度纯合的小鼠近交系成了生物医学研究的最佳模式动物,许多生物医学诺贝尔奖金获得者,在他们所进行的研究领域,几乎没有不是使用近交系小鼠而取得重大成果的。例如Medawars的免疫耐受性研究,Kohler和Milsteins的单克隆抗体发展,以及Doherty和Zinkernagelis的主要组织相容性复合体(MHC)的研究等。诺贝尔奖金获得者Georg Snell用近交系小鼠在研究鼠的MHC方面的贡献及其发展的回交方法学,在遗传作图研究方面已成为一个重要的工具。

二、猪近交系培育简史

在实验动物的研究中,科学家早已发现,猪在解剖结构和生理代谢等方面与人类十分接近。猪与猴类、狗和其他大型哺乳类实验动物相比较,具有同人类非常接近,易于饲养和捕捉,繁殖周期短且多产性等特点,是极为理想的生物医学实验动物。因此,猪作为生物医学实验动物的培育而受到人们重视已有很长的历史。早在1700年,英国的John-Auther就提出,猪可以作为人类循环系统等方面的研究模型。美国生物学家W. Douglas指出,猪的牙齿和人类一样,都有从乳齿到恒齿这样一个发生交替过程,是人类咀嚼器官的理想模型。猪的内脏器官和功能也与人的相似,猪血液中的红细胞直径和功能都与人类接近,动脉循环系统几乎是人的动脉循环系统的复制品。心血管疾病的发生机理和发展也十分相似,猪也会因过度紧张或兴奋而发生心肌梗塞,许多种人类疾病,都可以用猪作实验模型。然而,在过去很长时期,由于猪生长过速,体型太大,一般家猪性成熟时体重达150~400kg,所以一直很难得到利用。由于猪的近交系难以培育成功,近50年来,美国、德国、日本等国转而培育专用于生物医学实验的非近交系小型猪,称为医用微型猪,一般成年体重30~90kg,广泛用于生物医学研究领域。但是,由于这些小型猪的培育时间较晚,而且都是采用多品种复杂杂交或盗入野猪血液培育而成,迄今未见有近交系培育成功的报道。尽管如此,由于猪作为生物医学实验的诸多优点,非近交小型猪目前仍在生物学、基础医学和临床医学等科学领域得到广泛应用。

美、英等国对猪的近交实验未获进展的历史,使曾经对培育家养动物近交系的遗传学家们完全失去信心,至今未见有进一步研究实验研究的报道。直至1999年,英国莱斯特大学和剑桥大学Bablahma研究所的科学家,报道了用英国大白猪所作的近交研究的文章。他们从1970年开始,从一个英国大白猪群体中选择了一对主要组织相容性复合体(MHC)纯合的半同胞,逐步进行近交实验。经过近30年,其近交系数最高的品系达到75.2%(只相当于全同胞连续交配6个世代的近交系数)。他们认为:“啮齿动物近交系的培育成功,已广泛用于生物医学研究领域,并已成为这一研究领域不可缺少的动物。”然而,主要由于遗传变异的丧失伴有近交衰退的出现,往往导致近交后代的高死亡率。而且,要实现遗传的同质性,至少需要20个世代的全同胞交配。因此,要培育成功大型的家养动物近交系是不可能实现的。从20世纪20年代开始并一直延续到世纪末的近80年时间里,国际上先后开展的猪的近交系培育实验屡遭失败的历史,使大型哺乳动物近交系的培育成了动物遗传育种的禁区。

三、版纳微型猪近交系的培育及研究进展

在国际上对猪的近交系研究认为不可能成功的背景下,云南农业大学曾养志教授开始了版纳微型猪近交系的选育研究。他们于1977年进行地方猪种资源考察时,发现云南西双版纳当地的地方品种小耳猪是培育近交系的珍贵资源,1979年即向云南省科委申请立项进行研究。鉴于当时国内外都没有近交系培育成功的报道,云南省科委未批准正式立项,只同意进行探索性的“近交观察”,从此开始了我国猪近交系选育研究的第一个项目。

由于没有成功的经验可以借鉴,要进行这样一个前所未有的研究项目,有着极大的风险。1980年2月,曾养志教授等在西双版纳各地经过深入的考察和筛选,最后在一个偏僻而封闭的、历史上从未引入过外来猪种的少数民族——拉祜族寨子找到了一窝当年即由崽猪与母猪交配生下的仔猪,连同母猪带回西双版纳实验站进行近交观察。1980年10月,引入的这窝仔猪性成熟后,即组成全同胞(亲兄妹)和亲子交配(儿子再配母亲)两种高度近交方式进行近交繁殖。1981年2月开始,陆续产下近交的第二代仔猪,出现严重的近交衰退。以后连续5~6个世代都有严重的近交衰退出现。在实验站出生的第一世代,先后组配了10余个胎次,产下仔猪95头,最后仅存活继代3头(一公二母)。在下一世代中,先后组配所生的3世代仔猪一共87头,最终也只存活继代3头(也是一公二母)。这种情况表明,尽管所选

的近交系系祖已有相当程度的近交系数，但是，进入实验站进行正式的近交繁殖之后，严重的近交衰退仍然不可避免。在出现严重近交衰退的情况下，曾养志教授采取了与美、英等国完全不同的设计方案和一系列特有的技术措施，使早期世代仅存的数头猪得以存活继代。每个世代仍始终坚持全同胞或亲子交配，并继续在后代中进行严格的选择和淘汰，一年一个世代得以连续进行。

经过连续的高度近交，至1991年，已初步形成两个体型大小不同、基因型各异的近交系——JB系和JS系。两个系分别进入10世代，近交系数达到88.6%。经中国医学科学院情报研究所和云南省科技情报研究所分别进行国际联机检索，均未见世界上有连续近交10个世代、近交系数高达88.6%的猪选育的记录和文献报道。为了对版纳微型猪近交系的选育进行阶段性总结和评价，1991年4月，曾养志教授邀请一位在美国长期从事小鼠和鸡的近交系研究的动物遗传学教授到现场进行考察，他高度评价了曾教授的研究工作，写下了一份充满赞叹的评语：“据我所知，这是目前世界上绝无仅有的研究工作。”同年11月，云南省科委邀请全国著名遗传学家杨纪珂教授，国际遗传学联合会主席、复旦大学遗传研究所所长赵寿元教授，卫生部上海实验动物研究所所长陈天培教授，中国科学院遗传研究所汪安琦教授以及中国医学科学院实验动物研究所的实验动物学专家等组成的专家组，举行现场鉴定会。经过现场考察、查阅育种记录和资料并进行充分的论证，结论为：“本项目研究选题科学，意义重大，技术路线合理，研究内容严谨，数据可靠……其高度近交方式具有科学依据。对猪的近交系培育居国际领先水平。”1992年列为云南省“八五”期间的重点科技攻关项目。1996年为云南省应用基础重点项目。1997年为国家“九五”科技攻关项目。1998年得到国家基金委生命科学部主任基金资助，1999年继续得到国家自然科学基金重点项目资助。2002年11月，版纳微型猪近交系已进入20世代，在原来形成的两个近交系的5个家系中，进一步分化出具有不同表型和遗传标记的18个亚系，近交系数已高达98.6%。至此，世界上第一个大型哺乳动物近交系在中国成功建立。

根据动物近交的遗传学原理，国际小鼠遗传委员会1952年公布的近交系规则如下：“一个品系，当它已用全同胞交配达20世代或更多的世代并能在第20世代及其后的世代可以追溯到一对共同祖先，将被看作一个近交系。亲子交配可以代替全同胞交配。但在连续的亲子交配的情况下，在每次交配时，两个亲代必需是较年轻者。其他的近交系也可利用，但是必须提供其20世代的近交系数至少达到0.99”（J.A.Beck等，2000年）此后，国际实验动物委员会对小鼠近交品系定义的规则为：“……一个品系，当它已经过了20世代或更多世代的连续的兄妹交配，方能称为近交系。亲本与子代交配可以替代兄妹交配，其条件是连续的亲本与子代交配，每次交配中子代必须是双亲所生”。这个定义，同样要求全部在近交品系内的动物在连续的20世代之中可以追溯到一对共同祖先；我国发布的《实验动物——哺乳动物的遗传质量控制》国家标准（GB14923-94），规定了“哺乳类实验动物的遗传分类及命名原则、繁殖交配方法和近交系动物的遗传质量标准。本标准适用于哺乳类实验动物的遗传分类、命名、繁殖及近交系小鼠、大鼠的遗传纯度检测”。《标准》根据遗传特点的不同，将实验动物分为近交系、封闭群和杂交群3类。《标准》仍将近交系定义为“经至少连续20世代的全同胞兄妹交配培育而成，品系内所有个体都可追溯到起源于第20代或以后代数的一对共同祖先，该品系称为近交系”。“经连续20代以上亲代与子代交配与全同胞兄妹交配有等效效果。近交系的近交系数（Inbreeding coefficient）应大于99%”。此外，还对近交系的命名、近交系的近交代数、亚系的形成及命名等作出了具体规定。

根据以上规则，版纳微型猪近交系已完成了世界上第一个大型哺乳动物近交系的选育研究工作。届时将通过国家鉴定和申报国际实验动物委员会认证，即可向实验动物化推进，规模化投入实验动物市场，同时将进一步研究并申报国际医学GLP认证，并向异种器官移植（包括组织移植）、转基因动物研究和功能基因组学研究等领域扩展。版纳微型猪近交系的选育，是在美、英等国进行了近一个世纪而没有取得实质性进展，并且被认为近交系是不可能在大哺乳动物取得成功的科学禁区内，利用我国特有的地方猪种资源，采用国际上从未采用过的连续高度近交加严格选择的科学方法而取得的重大科研成果。该

项成果不仅是我国科学家独立完成的，而且是属于我国原始创新并拥有自主知识产权的重大科技成果。

四、版纳微型猪近交系现有亚系及遗传特征

经过24年的连续高度近交和严格选择，版纳微型猪近交系已形成具有不同表型和基因型的5个家系和18个亚系，为实验动物的开发提供了丰富的资源。版纳微型猪近交系由于高度近交，使原来选定的近交系祖先具有的杂合基因分离、重组并逐代达到纯合，从而出现了差异明显的表型性状。当出现的表型性状属于有利或合意基因的个体时，再组成全同胞或亲子交，这样的性状就逐步得到稳定。由于近交使基因得以分离、重组而形成具有表型标记的亚系计有30种以上，可以形成不同表型特征的亚系：

(1) 肥胖亚系：典型的遗传性肥胖，成年后饲料消耗仅为普通个体的50%以下，新陈代谢率低，极易囤积脂肪。这个亚系将是研究肥胖症的模型。

(2) 清瘦亚系：活动频繁，采食能力强，但不易囤积脂肪，屠宰后偏肉用型。是与肥胖型相反的遗传构型，这不仅是研究肥胖症的对照模型，而且是研究瘦肉型猪特有的瘦肉基因的极好材料。

(3) 矮小骨细亚系：个体较为纤细，四肢细短。成年体重仅为20kg左右。

(4) 长鬃亚系：鬃长而密，向后顺长而不能直立，被毛浓密粗黑。

(5) 长鬃可立亚系：鬃毛发达而长，惊恐、发怒或兴奋时长鬃可以竖起与皮肤呈直角，但被毛较稀，各种毛色的个体均可出现，且与性别无关。

(6) 短鬃短毛：鬃和全身被毛短而稀疏，呈灰色状。

(7) 鬃毛尖灰分叉：鬃毛较长，直立而每根鬃毛的尖部分叉呈棕灰色。

(8) 短鬃毛尖灰棕分叉：鬃短毛短，鬃毛尖部灰棕分叉。

(9) 白额星：额部中央一撮白毛。

(10) 白鼻镜：鼻镜中央为白色皮肤。

(11) 额部横痕：额部顶端形成一较明显的横形深部凹陷。

(12) 扫帚尾：尾较粗长，尾帚毛长而粗密似一拖把。

(13) 单尾：尾较细，端部毛稀而短。

(14) 菱形额纹：额部的皱纹呈水平状的菱形。

(15) 短鬃黑白花：全身白底黑斑，黑白界线分明，额部为长毛覆盖，额纹不显。

(16) 短鬃黑灰花：全身灰色底黑斑，黑白界线不分明，额部为长毛覆盖，额纹不显。

(17) 黑棕花：全身为棕灰色底黑斑毛色，额部为长毛覆盖，额纹不显。

(18) 6对乳头：普通小耳猪均为5对乳头。

(19) 7对乳头：以普通5对乳头稳定遗传的个体作为对照，可作为多乳头数量性状控制基因的研究材料。

(20) 二方头：头部额面宽平，额纹呈方形。

(21) 额部菱形：头部额面宽平，额纹呈菱形。

(22) 四肢白：四肢的近地部为白色皮肤和白毛。

(23) 全身毛长而黑：头部额纹被黑毛遮盖，鬃毛长、黑而顺后生长。

(24) 无毛猪：全身无毛，是研究动物毛发生发育基因的极好材料。

(25) 大耳：一般为耳小直立，但也分化出大耳型的亚系。

(26) 长体型：体型长，具有15对肋骨。

上述26种分离纯合后出现的性状，大部分已经稳定。这些具有不同遗传标记的亚系将对研究猪的遗传和进化、不同基因型的生物效应以及基因的相互作用和相互关系等，具有重大的理论和实用意义。作为生物医学实验的纯系动物，这些具有不同表型和遗传性状的亚系，将成为不可多得的具有不同表型和

基因型的实验动物模型。

五、版纳微型猪近交系的基因纯合度

按照经典的遗传学理论和小鼠近交系培育的实践，近交系的基因纯合度是用“近交系数”来度量的。随着分子遗传学的发展，今天已经可利用DNA分析技术来检测近交系动物的基因纯合度。为了验证版纳微型猪近交系的基因纯合度，我们采用32个高度多态性的微卫星标记，用PCR结合荧光半自动检测技术（Genescan技术），对近交系一些亚系随机抽样进行了基因纯合度的检测。所用的32对引物覆盖了猪的1~18号常染色体和性染色体X。每一对引物均由美国猪基因组协作组定位在特定染色体的位置并明确知道其碱基数，用这样的荧光引物进行研究，不仅可以阐明被测微卫星DNA所在的染色体位置，而且微卫星DNA呈孟德尔共显性遗传，因此可以确切地知道每个微卫星DNA及其相应的等位基因是杂合子还是纯合子。

随机选择了近交系中的3个家系——111、133和151家系中各一个亚系进行了基因纯合度检测，结果表明，近交系111家系中的被检亚系的基因纯合度最高，17~18世代的个体32个引物只有2个为杂合，其余都已纯合。其次是151家系的被检个体32个引物有的个体只有3个杂合，而作为对照的杂交猪32个引物有22个为杂合。按照同一亚系3个世代的统计分析，计算出被测亚系及对照组的32个微卫星基因座的多态信息含量（PIC）、平均多态信息含量、杂合度及平均杂合度（H）。说明版纳微型猪近交系已处于高度近交水平。

六、版纳微型猪近交系的解剖学和组织学

版纳微型猪近交系完成20世代的选育，无论是深入开展深层次的基础理论研究，还是提供生物医学研究和实验动物市场，近交系解剖学将成为使用者最基础的资料。为了适应这种需要，云南农业大学版纳微型猪近交系研究所与第三军医大学基础医学部合作，完成了近交系JB系和JS系的解剖学研究，包括各形态系统的解剖结构以及微观组织结构。这一专著的出版发行，将为生物医学领域使用版纳微型猪近交系的研究者提供丰富、翔实的形态科学资料。

第一篇 版纳微型猪近交系解剖学

第一章 骨学 osteology

一、躯干骨

躯干骨包括椎骨、胸骨和肋，它们分别参与脊柱、骨性胸廓和骨盆的组成。

(一) 椎骨

版纳微型猪近交系的椎骨 vertebrae 包括颈椎 (C) 7 块，胸椎 (T) 14 块，腰椎 (L) 5 块，荐椎 (S) 4 块和尾椎 (Cy) 22 块。

1. 椎骨的一般构造(图1-1-1A、1-1-1B、1-1-1C) 椎骨由腹侧的椎体、背侧的椎弓及椎弓上的突起组成。椎体 vertebral body 呈短圆柱状，椎体的前面突出称椎头 vertebral head，后面较前面

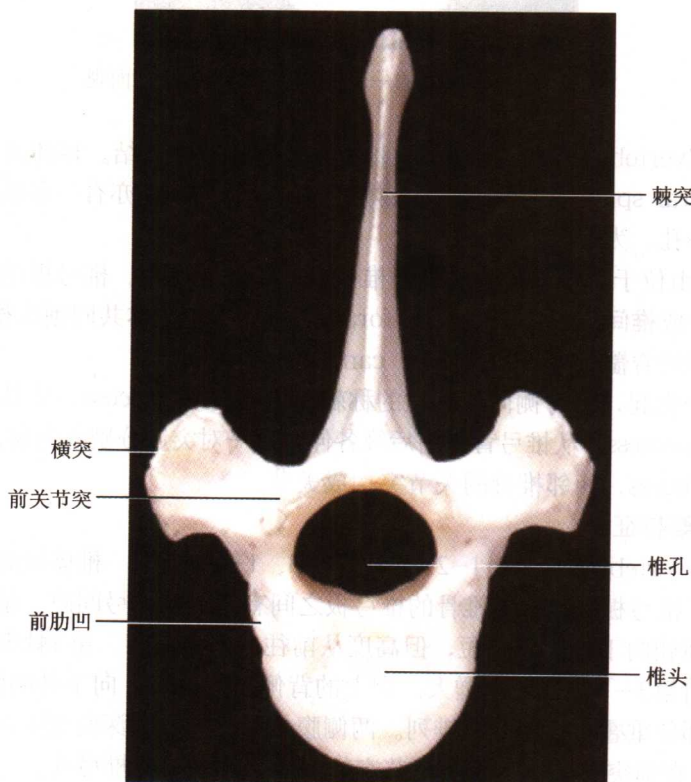


图 1-1-1A 椎骨的一般形态 (第 6 胸椎) 前面观

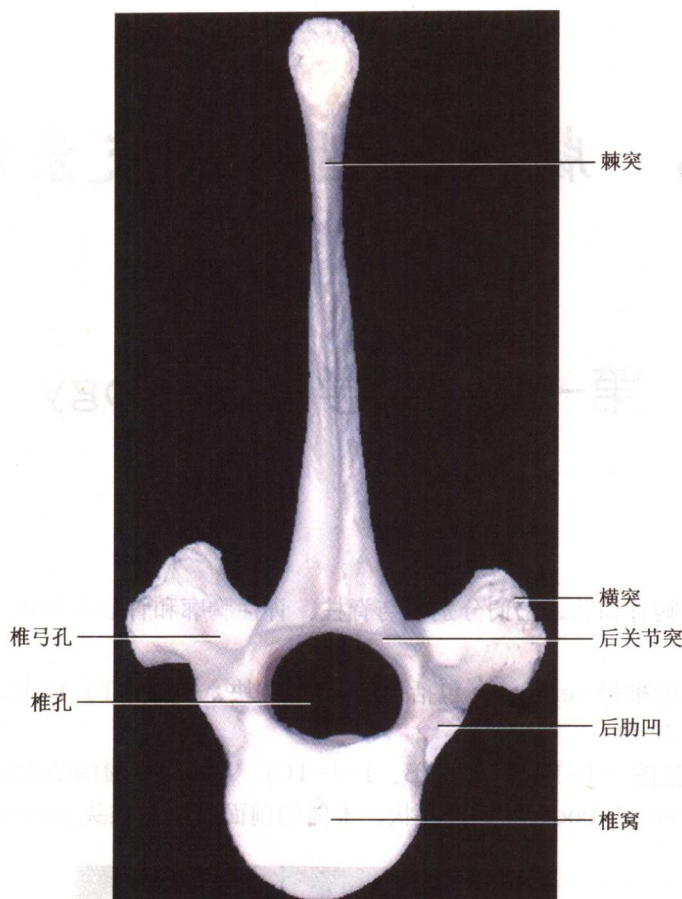


图 1-1-1B 椎骨的一般形态 (第 6 胸椎) 后面观

略大，呈凹状，称**椎窝**vertebral fossa，相邻椎骨的椎头和椎窝相联结。椎体腹侧面正中有一条前后方向的纵嵴，称**腹棘**ventral spine，两侧圆隆。椎体背侧面平坦，中央亦有一前后方向的纵嵴。在嵴的中部两边各有 1 ~ 2 个小孔，为滋养孔。

椎弓vertebral arch位于椎体的背侧，又分椎弓根及椎弓板两部。椎弓根前后缘分别有椎前、后切迹。相邻椎弓的切迹合成**椎间孔**intervertebral foramen。椎弓与椎体共同围成**椎孔**vertebral foramen，各部椎孔相连，构成容纳脊髓的**椎管**vertebral canal。

从椎弓上伸出 7 个突起，从背侧向上伸出的称**棘突**spinous process，从基部向两侧伸出的一对突起，称**横突**transverse process，从椎弓背侧前后缘各伸出的一对突起分别称为**前、后关节突**anterior and posterior articular process，相邻椎骨的关节突构成关节。

2. 各部椎骨的主要特征

(1) **颈椎**cervical vertebrae (图 1-1-2A、1-1-2B、1-1-2C) 椎体短而宽，断面呈椭圆形，腹侧面较平坦，无腹棘，椎弓板窄，相邻椎骨的椎弓板之间较大的椎弓间隙。前关节突的关节面朝向上内，后关节突的关节面朝向下外。棘突短，但高度从前往后逐渐增加，第 3 棘突往后倾斜，后面的往前倾斜。横突分两支，自第 3 ~ 6 颈椎逐渐增大。向上的背侧支较短小，向下外的腹侧支略呈四边形板状，相邻的腹侧支有一小部分重叠，呈叠瓦状排列。两侧腹侧支之间构成深而宽的沟。横突的根部有**横突孔**transverse foramen，在横突孔的上方、前关节突的下方有一较小的椎弓孔。

特殊颈椎有寰椎、枢椎和第 7 颈椎。