

文章编号:1000-5404(2013)11-1111-04

论著

不同限饲水平下巴马香猪血液生理、生化指标的比较

李亮,刘宇,商海涛,魏泓 (400038 重庆,第三军医大学基础医学部实验动物学教研室)

[摘要] **目的** 测定不同限饲水平下巴马香猪重要血液生理、生化指标,探讨限饲对血液生理生化指标的影响。**方法** 将336头断奶巴马香猪根据不同限饲水平按完全随机法分为对照组、80%日粮组和50%日粮组,每组112头,在60日龄和90日龄前腔静脉采集血液样本,对重要的10项血液生理指标和7项血液生化指标进行测定,统计不同限饲水平下指标的差异。**结果** 血液生化指标中ALT、TP、UREA和CREA指标值随着限饲水平的上升而上升;而TCHOL和GLU指标值随着限饲水平的上升而下降($P < 0.05$)。血液生理指标中RBC、HGB、HCT、MCH和MCHC指标含量随着限饲水平的上升而上升;而PLT、MCV、RDW-SD和RDW-CV指标含量随着限饲水平的上升而下降($P < 0.05$)。**结论** 巴马香猪在3个限饲水平下,血液生理、生化指标存在明显差异;按80%日粮限饲的巴马香猪更能获得稳定标准的巴马香猪血液生理、生化指标。

[关键词] 巴马香猪;限饲;血液生理;血液生化

[中图分类号] R-332;R446.11

[文献标志码] A

Comparison of blood physiological and biochemical parameters in Bama miniature pigs under different restricted feeding

Li Liang, Liu Yu, Shang Haitao, Wei Hong (Department of Laboratory Animal Science, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing, 400038, China)

[Abstract] **Objective** To compare blood physiological and biochemical parameters in Bama miniature pigs under different restricted feeding, and to investigate the effect of restricted feeding levels on blood physiological and biochemical parameters, in order to laid a foundation for animal standardized research in Bama miniature pigs. **Methods** Three hundred and thirty-six weaning Bama miniature pigs were randomly divided into a control group, a 80% of the diet group and a 50% of the diet group according to different restricted feeding. Blood samples were collected from the precava at 60 and 90 d, and seven blood biochemical parameters such as alanine aminotransferase (ALT), total protein (TP), total cholesterol (TCHOL), triglycerides (TG), UREA, creatinine (CREA) and glucose (GLU), and ten blood physiological parameters such as white blood cell (WBC), red blood cell (RBC), hemoglobin (HGB), platelet (PLT), hematocrit (HCT), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), red cell distribution width (RDW)-SD and RDW-CV were determined. The differences of the parameters under different restricted feeding levels were compared. **Results** The blood physiological and biochemical parameters such as ALT, TP, UREA, CREA, RBC, HGB, HCT, MCH and MCHC were positively correlated with the restricted feeding levels, while those such as TCHOL, GLU, PLT, MCV, RDW-SD and RDW-CV were negatively correlated with the restricted feeding levels. **Conclusion** The blood physiological and biochemical parameters of Bama miniature pigs have significant differences under three restricted feeding levels, and we can get stable and standard blood physiological and biochemical parameters under 20% restricted feeding in this study.

[Key words] Bama miniature pig; restricted feeding; hematologic parameter; physiological parameter

Supported by the National Basic Research Program (973 Program, 2011CBA01006), the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program, 2012AA020603), and the Supporting Program for Sci & Tech Research of China (2011BAI15B02). Corresponding author: Wei Hong, Tel: 86-23-68752051, E-mail: weihong63528@163.com

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划(973计划,2011CBA01006);国家高技术研究发展计划(863计划,2012AA020603);国家科技支撑计划(2011BAI15B02)

[通信作者] 魏泓,电话:(023)68752051,E-mail:weihong63528@163.com

[优先出版] <http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20130410.1712.015.html> (2013-04-10)

巴马香猪在解剖学、生理学、营养代谢等方面与人类相似,广泛应用于心血管系统、消化系统、泌尿系统、皮肤、整形外科以及异种脏器移植等研究中^[1-2]。血液生理、生化指标检测及相关生物特性的研究是实验用小型猪标准化研究的基本内容,也是病理、生理以及

毒理学研究工作的重要基础指标和判定小型猪生理状态的重要依据。小型猪作为新兴的大型实验动物饲养标准还未统一,多数研究单位为了防止小型猪过度采食导致肥胖以及饲养成本的考虑,对小型猪饲养采取限饲并辅以大量青料,可能导致血液生理、生化指标的测定产生误差^[3]。目前国内外还少见开展关于限饲对于巴马香猪作为标准实验动物影响的研究,而对其他实验动物如大鼠^[4]、兔^[5-6]等研究较多。因此,本实验探讨了限饲对于巴马香猪10项常规血液生理指标以及肝功代表性指标谷丙转氨酶(ALT)和总蛋白(TP),血脂代表性指标总胆固醇(TCHOL)和甘油三酯(TG),肾功代表性指标尿素(UREA)和肌酐(CREA)以及血糖(GLU)7项重要生化指标的影响,并进行了国内大规模巴马香猪血液生理、生化的值测定对比分析,旨在为巴马香猪在建立、筛选疾病动物模型以及器官异种移植实验上提供基本参考数据。

1 材料与方 法

1.1 实验动物

本研究所有程序符合动物福利法、实验动物护理和使用指南。巴马香猪为第三军医大学小型猪场提供,选择胎次、断奶日龄相近的巴马香猪共336头,体质量2.5~3.5 kg,按完全随机法均分成3组:①对照组:112头,其中雄性48头,雌性64头,按100%全价料饲养:玉米34.5%,鱼粉5%,乳清粉10%,牛奶乳糖20%,葡萄糖5%,豆粕22.25%,植物油1%,磷酸氢钙0.5%,石粉0.5%,食盐0.25%,复合预混料1%。②80%日粮组:112头,其中雄性53头,雌性59头,按80%全价料+20%青饲料饲养,其日粮的各项含量分别比对照组低20%;③50%日粮组:112头,其中雄性46头,雌性66头,按50%全价料+50%青饲料饲养,其日粮的各项含量分别比对照组低50%。3个实验组配方营养成分分析见表1^[7]。小型猪饲养条件为自然温度、湿度和光照,饲养于标准化医用小型猪舍,保证了本次检测的小型猪能用于生物医学的研究,并且所有小型猪健康,未携带特定病原微生物如猪瘟病毒、伪狂犬病毒、猪蛔虫、致病性皮肤真菌、结核杆菌以及志贺菌等。

1.2 实验方法

在正式实验开始前,对实验猪重新空腹称量并进行同质性检验,然后转入正式期。巴马香猪30日龄断奶以后,根据初始体质量和窝别,采用完全随机法分成3组,每头猪单圈饲养,分别按照对照组、80%日粮组和50%日粮组饲料水平饲养,每天分上下午2次按照0.3 kg/头标准喂饲,自由饮水。选取60日龄和90日龄两个时间点采集血液标本。

1.3 血液生理指标检测

采血前12 h禁食,在猪清醒情况下前腔静脉采血3 mL,注入肝素抗凝管,抗凝血颠倒混匀,将所得到的抗凝血以 Sysmex

XS-800i全自动血细胞分析仪测红细胞数(RBC)、白细胞数(WBC)、血小板(PLT)、血红蛋白(HGB)、红细胞压积(HCT)、平均红细胞体积(MCV)、平均血红蛋白含量(MCH)、平均血红蛋白浓度(MCHC)、红细胞分布宽度标准差(RDW-SD)和红细胞分布宽度变异系数(RDW-CV)10项血液生理指标。

1.4 血液生化指标检测

采血前12 h禁食,在猪清醒情况下前腔静脉采血2 mL,注入促凝管中,静置30 min,然后2 000 r/min离心20 min取血清,用日本奥林巴斯2700型全自动生化分析仪检测ALT、TP、TCHOL、TG、UREA、CREA、GLU 7项生化指标。

1.5 统计学方法

检测数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,用SPSS 20.0统计软件,3个组之间血液指标采用单因素方差分析,非正态分布个别数据用秩和检验,比较在不同限饲水平对巴马香猪血液生理生化值的影响。

2 结果

2.1 不同限饲组巴马香猪血液生化指标

不同限饲水平下巴马香猪血液生化指标测定结果见表2。在60日龄,80%日粮组巴马香猪TG(雌)和UREA(雌、雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而TCHOL(雌)和GLU(雌、雄)指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪ALT(雌、雄)、TP(雄)、UREA(雌、雄)和CREA(雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而TCHOL(雌、雄)、TG(雌)和GLU(雌、雄)指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪ALT(雌、雄)、TP(雄)、UREA(雌)和CREA(雄)指标值显著高于80%日粮组($P < 0.05$),而TCHOL(雄)、TG(雌)和GLU(雌、雄)指标值显著低于80%日粮组($P < 0.05$)。

在90日龄,80%日粮组巴马香猪UREA(雌、雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪ALT(雌、雄)、TP(雄)、UREA(雌、雄)和CREA(雌、雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而TCHOL(雌、雄)、TG(雌)和GLU(雌、雄)指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪ALT(雄)、TP(雄)、UREA(雄)和CREA(雄)指标值显著高于80%日粮组($P < 0.05$),而TCHOL(雌、雄)、TG(雌)和GLU(雌、雄)指标值显著低于80%日粮组($P < 0.05$)。

2.2 不同限饲组巴马香猪血液生理指标

不同限饲水平下巴马香猪血液生理指标测定结果见表3。在60日龄,80%日粮组(雌、雄)巴马香猪WBC、MCV、RDW-SD指标值与HCT(雌)指标值显著低于对照组($P < 0.05$),而(雌、雄)巴马香猪MCHC和(雄)巴马香猪RBC、HGB指标值显著高于对照组($P < 0.05$);50%日粮组(雄)巴马香猪RBC、HGB、HCT、MCH指标值与MCHC(雌、雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而MCV(雌)、与(雌、雄)PLT、RDW-SD、RDW-CV指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪WBC(雌)、RBC(雌)、HGB(雌、雄)、HCT(雄)和MCH(雄)指标值显著高于80%日粮组($P < 0.05$),而PLT(雌、雄)、RDW-SD(雌、雄)和RDW-CV(雌)指标值显著低于80%日粮组($P < 0.05$)。

表1 不同限饲组巴马香猪饲料营养成分分析

组别	消化能(mJ/kg)	粗蛋白(%)	赖氨酸(%)	含硫氨基酸(%)	苏氨酸(%)	色氨酸(%)	钙(%)	磷(%)	钠(%)
对照组	13.77	24.20	1.55	0.78	0.75	0.30	1.00	0.65	0.15
80%日粮组	11.27	19.78	1.24	0.62	0.60	0.24	0.84	0.53	0.12
50%日粮组	7.53	13.15	0.78	0.39	0.38	0.15	0.61	0.34	0.08

表2 不同限饲组巴马香猪血液生化指标测定结果($\bar{x} \pm s$)

检测指标		60日龄			90日龄		
		对照组	80%日粮组	50%日粮组	对照组	80%日粮组	50%日粮组
ALT(U/L)	雌	46.78 ± 17.60	45.29 ± 22.66	50.64 ± 18.29 ^{ab}	46.88 ± 16.78	48.01 ± 22.54	52.66 ± 18.40 ^a
	雄	39.26 ± 13.41	42.91 ± 21.32	58.81 ± 17.22 ^{ab}	44.49 ± 14.07	44.85 ± 19.48	58.90 ± 16.74 ^{ab}
TP(g/L)	雌	69.30 ± 6.51	68.83 ± 7.06	68.41 ± 5.36	68.87 ± 5.71	69.95 ± 7.50	69.88 ± 5.63
	雄	67.33 ± 6.16	68.67 ± 6.46	72.14 ± 5.59 ^{ab}	67.02 ± 5.18	68.39 ± 6.89	77.32 ± 5.09 ^{ab}
TCHOL(mmol/L)	雌	3.02 ± 0.67	2.49 ± 0.77 ^a	2.37 ± 0.41 ^a	3.04 ± 0.73	2.83 ± 0.60	2.16 ± 0.43 ^{ab}
	雄	2.67 ± 0.87	2.60 ± 1.05	2.01 ± 0.33 ^{ab}	2.69 ± 0.81	2.58 ± 0.83	1.97 ± 0.36 ^{ab}
TG(mmol/L)	雌	0.47 ± 0.22	0.55 ± 0.33 ^a	0.37 ± 0.18 ^{ab}	0.50 ± 0.21	0.49 ± 0.19	0.38 ± 0.16 ^{ab}
	雄	0.40 ± 0.16	0.48 ± 0.27	0.40 ± 0.17	0.41 ± 0.20	0.42 ± 0.20	0.44 ± 0.21
UREA(mmol/L)	雌	3.60 ± 0.90	4.97 ± 1.40 ^a	5.62 ± 1.08 ^{ab}	3.47 ± 1.03	5.04 ± 0.81 ^a	5.33 ± 1.05 ^a
	雄	3.93 ± 1.69	5.10 ± 1.53 ^a	5.12 ± 1.02 ^a	3.72 ± 1.65	4.71 ± 1.33 ^a	5.18 ± 1.01 ^{ab}
CREA(μmol/L)	雌	56.05 ± 21.25	56.73 ± 23.49	60.74 ± 16.13	70.89 ± 22.53	76.75 ± 24.47	80.42 ± 20.18 ^a
	雄	45.05 ± 15.81	51.46 ± 22.51	70.71 ± 15.62 ^{ab}	66.75 ± 16.39	71.80 ± 22.36	92.33 ± 19.14 ^{ab}
GLU(mmol/L)	雌	5.77 ± 2.04	4.00 ± 1.44 ^a	2.68 ± 1.10 ^{ab}	5.69 ± 1.86	5.48 ± 0.95	4.58 ± 0.88 ^{ab}
	雄	5.98 ± 2.00	4.30 ± 1.78 ^a	3.14 ± 1.05 ^{ab}	5.84 ± 1.72	5.79 ± 1.16	5.32 ± 1.17 ^{ab}

a: $P < 0.05$, 与对照组比较; b: $P < 0.05$, 与80%日粮组比较

表3 不同限饲组巴马香猪血液生理指标测定结果($\bar{x} \pm s$)

检测指标		60日龄			90日龄		
		对照组	80%日粮组	50%日粮组	对照组	80%日粮组	50%日粮组
WBC($\times 10^9/L$)	雌	23.57 ± 4.80	17.98 ± 5.37 ^a	24.79 ± 5.93 ^b	23.11 ± 4.78	21.30 ± 4.52	23.19 ± 6.92
	雄	22.11 ± 5.73	17.11 ± 6.40 ^a	16.95 ± 4.35 ^a	21.75 ± 5.26	18.64 ± 5.71 ^a	18.95 ± 5.84 ^a
RBC($\times 10^{12}/L$)	雌	8.77 ± 1.24	8.53 ± 1.36	9.10 ± 1.34 ^b	9.11 ± 1.47	9.30 ± 1.44	9.02 ± 1.42 ^b
	雄	8.27 ± 1.38	8.90 ± 1.21 ^a	10.83 ± 1.17 ^a	6.93 ± 1.25	6.93 ± 1.25 ^a	9.60 ± 1.53 ^a
HGB(g/L)	雌	139.22 ± 19.80	136.26 ± 23.10	145.00 ± 22.86 ^b	138.45 ± 20.25	137.66 ± 20.53	147.03 ± 26.15 ^{ab}
	雄	129.15 ± 20.12	142.70 ± 21.33 ^a	179.77 ± 18.21 ^{ab}	130.22 ± 19.79	141.39 ± 22.48	175.92 ± 22.20 ^{ab}
PLT($\times 10^9/L$)	雌	484.37 ± 131.92	466.27 ± 141.57	375.32 ± 107.23 ^{ab}	456.88 ± 133.71	460.30 ± 142.31	325.71 ± 110.42 ^{ab}
	雄	455.67 ± 124.70	454.88 ± 140.74	318.11 ± 100.61 ^{ab}	438.90 ± 128.04	441.79 ± 138.90	275.10 ± 105.38 ^{ab}
HCT(%)	雌	52.61 ± 5.71	48.96 ± 6.67 ^a	51.17 ± 6.93	51.55 ± 6.88	49.27 ± 6.53	50.42 ± 6.89
	雄	49.46 ± 6.68	50.70 ± 6.25	62.06 ± 6.34 ^{ab}	49.30 ± 6.50	50.12 ± 6.96	53.01 ± 7.32 ^{ab}
MCV(fL)	雌	60.44 ± 5.21	57.80 ± 4.36 ^a	56.40 ± 4.19 ^a	60.64 ± 4.99	59.67 ± 6.04	58.42 ± 4.63
	雄	59.66 ± 5.84	57.21 ± 3.91 ^a	57.43 ± 3.79	59.58 ± 4.87	59.11 ± 5.22	56.30 ± 5.05 ^{ab}
MCH(pg)	雌	15.91 ± 1.02	15.98 ± 1.10	15.93 ± 0.86	16.22 ± 1.23	16.47 ± 1.71	16.21 ± 0.89
	雄	15.69 ± 1.34	16.04 ± 0.96	16.62 ± 0.66 ^{ab}	15.89 ± 1.08	16.35 ± 1.00	16.75 ± 1.23 ^a
MCHC(g/L)	雌	264.00 ± 14.43	277.20 ± 16.56 ^a	282.95 ± 11.93 ^a	267.63 ± 14.80	270.18 ± 16.68	284.01 ± 13.06 ^a
	雄	262.72 ± 15.84	280.79 ± 14.24 ^a	290.02 ± 14.40 ^a	264.41 ± 15.03	275.40 ± 14.33	292.25 ± 13.37 ^a
RDW-SD(fL)	雌	50.31 ± 7.94	46.43 ± 8.61 ^a	43.43 ± 5.35 ^{ab}	50.44 ± 8.49	47.80 ± 7.74	43.63 ± 8.18 ^{ab}
	雄	58.24 ± 7.32	50.62 ± 8.86 ^a	43.88 ± 3.87 ^{ab}	56.32 ± 8.51	52.16 ± 8.44	44.87 ± 8.34 ^{ab}
RDW-CV(%)	雌	26.26 ± 2.88	25.59 ± 3.40	23.46 ± 2.27 ^{ab}	26.53 ± 2.77	26.17 ± 3.96	24.32 ± 2.30 ^{ab}
	雄	27.09 ± 5.86	25.07 ± 3.06	24.09 ± 1.72 ^a	26.22 ± 5.89	25.80 ± 3.79	23.50 ± 3.25 ^{ab}

a: $P < 0.05$, 与对照组比较; b: $P < 0.05$, 与80%日粮组比较

在90日龄,80%日粮组巴马香猪RBC(雄)指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而WBC(雄)指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组(雄)巴马香猪RBC、HCT、MCH与(雌、雄)巴马香猪HGB、MCHC指标值显著高于对照组($P < 0.05$),而(雄)巴马香猪WBC、MCV与(雌、雄)巴马香猪PLT、RDW-SD、RDW-CV指标值显著低于对照组($P < 0.05$);50%日粮组巴马香猪HGB(雌、雄)和HCT(雄)指标值显著高于80%日粮组($P < 0.05$),而(雌、雄)巴马香猪PLT、RDW-SD、RDW-CV与RBC(雌)、MCV(雄)指标值显著低于80%日粮组($P < 0.05$)。

3 讨论

实验动物标准化控制包括遗传学质量、微生物学质量、环境和营养控制4个方面。我们选取遗传稳定的巴马香猪,并饲养于标准化医用小型猪舍,确保了实验动物的遗传、生长环境和微生物的统一性。据文献[8]报道仔猪出生后在不同发育阶段血液学指标变化较大,出生后1周左右常会发生生理性贫血,1月龄左右发生贫血的比例更高,但这种贫血具有一定的自限

性,2月龄左右仔猪贫血现象基本消失,其血液指标与成年猪相比也较接近。所以本实验选用60日龄和90日龄巴马香猪进行测定,其数据基本能反映成年小型猪血液学特征。而动物血液生理、生化指标值易受动物营养水平高低的影响,并且小规模血液指标测定不具有代表性,因此本实验在国内通过大规模的巴马香猪血液生理、生化指标的测定,能全面反映不同限饲水平下巴马香猪血液生理、生化指标的变化情况。

3.1 不同限饲水平下巴马香猪血液生化指标比较

对60日龄和90日龄不同限饲水平下巴马香猪雌性和雄性血液生化指标的分析可知,ALT、TP、UREA和CREA指标值随着限饲水平的上升而上升;而TCHOL和GLU指标值随着限饲水平的上升而下降。提示在对巴马香猪进行限饲后,营养水平未能跟上其身体需要,营养缺乏将会导致机体出现一系列生理生化变化^[9-10],如新陈代谢率下降,血糖降低^[11],总胆固醇值下降等。长期营养缺乏将会导致50%日粮限

饲水平下猪体内蛋白质和脂肪的分解,然后经糖异生作用实现对大脑和红细胞等的能量补充供应,而CREA是肌肉在机体内代谢的产物^[12],因此出现血清中CREA含量上升。血清中TP和UREA含量在一定程度上代表了动物对蛋白质的吸收消化程度和动物体内蛋白质代谢情况,当血清中这两项指标值相对较高时,表明动物体内蛋白质合成率和利用率降低。有研究发现血清中UREA浓度与肌肉增长呈负相关^[13],因此在50%日粮限饲水平下巴马香猪生长缓慢,体内蛋白质合成率和利用率降低,出现TP和UREA指标值升高;同时机体免疫功能下降,容易受到各种疾病的侵袭,导致了血液中ALT含量上升^[14]。同时80%日粮组与对照组巴马香猪相比,除了UREA含量存在显著差别外,其余指标之间均未有差异。王爱德等^[15-16]最早在巴马香猪原产地广西巴马县对50头健康巴马香猪进行血液生理生化指标的测定,现将其研究成果普遍引用为巴马香猪血液生理、生化指标的参考标准。本研究与王爱德等^[15]检测的结果比较发现,80%日粮组指标更加接近参考文献标准值,提示在100%日粮组饲养条件下,巴马香猪可能会产生肥胖,从而影响血液生化指标。

3.2 不同限饲水平下巴马香猪血液生理指标比较

对60日龄和90日龄不同限饲水平下巴马香猪雌性和雄性血液生理指标的分析可知,RBC、HGB、HCT、MCH和MCHC指标含量随着限饲水平的上升而上升;而PLT、MCV、RDW-SD和RDW-CV指标含量随着限饲水平的上升而下降。将本实验结果和王爱德等^[16]检测的结果比较发现,限饲并未导致巴马香猪产生贫血,而且随着限饲水平的上升,RBC和HGB等指标值反而升高,这可能是由于限饲水平越高,动物对青饲料摄入量也相应地增加,青饲料能补充机体所需的铁和叶酸等对红细胞和血红蛋白合成必需的物质^[17],从而使血液中RBC、HGB、HCT、MCH和MCHC指标值上升。这提示适当的青饲料可以补充动物体所必需微量元素,防止贫血等疾病的发生。

综上所述,本实验通过对3个实验组共336头巴马香猪在60日龄和90日龄两个时间点血液生理生化指标值的测定,揭示了限饲对血液生理、生化指标产生的影响,尤其是在50%日粮限饲水平下,巴马香猪血液生理、生化指标与对照组和20%日粮限饲水平之间存在明显差异。同时由于巴马香猪杂食性的特点,适当的添加青饲料符合其生长规律和身体需求,对建立巴马香猪血液生理生化标准参数有积极作用,因此在本实验中,对巴马香猪进行20%日粮限饲比未限饲和50%日粮限饲更能获得稳定标准的巴马香猪血液生理、生化指标。

参考文献:

[1] d'Apice A J, Cowan P J. Gene-modified pigs[J]. Xenotransplanta-

tion, 2008, 15(2): 87-90.

[2] Wang S, Liu Y, Fang D, et al. The miniature pig: a useful large animal model for dental and orofacial research[J]. Oral Dis, 2007, 13(6): 530-537.

[3] Bollen P, Skydsgaard M. Restricted feeding may induce serous fat atrophy in male Gottingen minipigs[J]. Exp Toxicol Pathol, 2006, 57(5/6): 347-349.

[4] Kempainen N, Hau J, Meller A, et al. Impact of aspen furniture and restricted feeding on activity, blood pressure, heart rate and faecal corticosterone and immunoglobulin A excretion in rats (Rattus norvegicus) housed in individually ventilated cages[J]. Lab Anim, 2010, 44(2): 104-112.

[5] Matsuoka T, Mizoguchi H, Mizoguchi Y, et al. Effects of restricted feeding on blood parameters in pregnant rabbits[J]. J Toxicol Sci, 2009, 34(1): 129-137.

[6] Matsuoka T, Mizoguchi Y, Haneda R, et al. Effects of restricted feeding on fetal and placental development in pregnant rabbits[J]. J Toxicol Sci, 2012, 37(1): 207-214.

[7] 熊本海, 庞之洪, 罗清尧. 中国饲料成分及营养价值表(2011年第22版)制订说明[J]. 中国饲料, 2011, (21): 37-43.

[8] Yeom S C, Cho S Y, Park C G, et al. Analysis of reference interval and age-related changes in serum biochemistry and hematology in the specific pathogen free miniature pig[J]. Lab Anim Res, 2012, 28(4): 245-253.

[9] Boddicker N, Gabler N K, Spurlock M E, et al. Effects of ad libitum and restricted feeding on early production performance and body composition of Yorkshire pigs selected for reduced residual feed intake[J]. Animal, 2011, 5(9): 1344-1353.

[10] Wiecek J, Rekiel A, Skomial J. Effect of restricted feeding and re-orientation periods on compensatory growth performance and physiological characteristics of pigs[J]. Arch Anim Nutr, 2011, 65(1): 34-45.

[11] Larsen M O, Rolin B, Wilken M, et al. Parameters of glucose and lipid metabolism in the male Gottingen minipig; influence of age, body weight, and breeding family[J]. Comp Med, 2001, 51(5): 436-442.

[12] Sun X, Zhang L, Cheng J, et al. Study of renal function matching between Banna Minipig Inbred line and human[J]. Transplant Proc, 2004, 36(8): 2488-2489.

[13] Coma J, Zimmerman D R, Carion D. Relationship of rate of lean tissue growth and other factors to concentration of urea in plasma of pigs[J]. J Anim Sci, 1995, 73(12): 3649-3656.

[14] Zhang L, Sun X, Cheng J, et al. Study of hepatic function matching between Banna minipig inbred and humans[J]. Transplant Proc, 2004, 36(8): 2492-2494.

[15] 王爱德, 郭亚芬, 李柏, 等. 巴马小型猪血液生化指标[J]. 上海实验动物科学, 2001, 21(1): 8-12.

[16] 王爱德, 郭亚芬, 李柏, 等. 巴马小型猪血液生理指标[J]. 上海实验动物科学, 2001, 21(2): 75-77.

[17] Ogburn R M, Edwards E J. Quantifying succulence: a rapid, physiologically meaningful metric of plant water storage[J]. Plant Cell Environ, 2012, 35(9): 1533-1542.

(收稿:2013-03-12;修回:2013-03-29)

(编辑 汪勤俭)