

倪海花, 乔筱翌, 王彦平, 等. 大约克猪日增重相关血液生理生化指标的筛选 [J]. 畜牧与兽医, 2026, 58 (10): 19–24.

Ni H H, Qiao X Y, Wang Y P, et al. Study of blood hematological and biochemical indicators related to average daily gain in Yorkshire pigs [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2026, 58 (10): 19–24.

大约克猪日增重相关血液生理生化指标的筛选

倪海花^{1,2}, 乔筱翌^{1,2}, 王彦平², 赵雪艳², 李菁璇², 王继英^{2*}, 李晓^{1*}

(1. 西北农林科技大学动物科技学院/陕西省动物遗传育种与繁殖重点实验室, 陕西 杨凌 712000;

2. 山东省农业科学院畜牧兽医研究所/农业农村部畜禽生物组学重点实验室/山东省主要畜禽育种重点实验室, 山东 济南 250100)

摘要: 旨在研究大约克猪平均日增重 (ADG) 对血常规与生化指标的影响, 筛选出与生长性能相关的潜在生物标记物。以 198 头大约克猪为试验对象, 测定其 ADG 等生长性能后, 测定 23 项血常规和 21 项血液生化指标, 随后从试验群体中选取高、低 ADG 大约克猪各 30 头, 比较组间指标差异, 并对全群体样本指标与 ADG 进行偏相关性分析。结果: 高 ADG 组猪的嗜酸性粒细胞数 (EO#) 及百分比 (EO%)、谷氨酸氨基转移酶 (ALT)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)、C-反应蛋白 (CRP) 和免疫球蛋白 M (IgM) 均显著高于低 ADG 组 ($P < 0.05$); 而嗜碱性粒细胞百分比 (BASO%)、平均血小板体积 (MPV) 和高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 则显著低于低 ADG 组 ($P < 0.05$)。偏相关性分析表明, BASO% 与 ADG 呈显著负相关 ($P < 0.05$); 红细胞分布宽度标准差 (RDW-SD)、白细胞计数 (WBC) 及淋巴细胞百分比 (LYMPH%) 等与 ADG 呈现近似相关趋势。综上, 本研究揭示了与猪 ADG 密切相关的多项血液指标, 涵盖免疫功能 (BASO、WBC、LYMPH) 及血细胞形态特征 (RDW-SD、RDW-CV) 等多个生理层面, 为解析猪生长性能的生理调控机制提供血液学依据, 也为生长性能的早期预测和育种筛选提供了潜在标志物。

关键词: 日增重; 大约克猪; 血液生理指标; 血液生化指标

中图分类号: S815.8 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2026)10-0019-06

Study of blood hematological and biochemical indicators related to average daily gain in Yorkshire pigs

NI Haihua^{1,2}, QIAO Xiaoyi^{1,2}, WANG Yanping², ZHAO Xueyan², LI Jingxuan², WANG Jiyi^{2*}, LI Xiao^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University/Key Laboratory of Animal Genetics,

Breeding and Reproduction of Shaanxi Province, Yangling 712000, China;

2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Shandong Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Livestock and Poultry Multi-omics of Ministry of Agriculture and Rural Affairs/

Key Laboratory of Animal and Poultry Disease Prevention and Breeding of Shandong Province, Jinan 250100, China)

Abstract: This study aimed to determine the effects of hematological and biochemical indicators on average daily gain (ADG) in pigs, and to identify potential biomarkers associated with growth performance. A total of 198 Yorkshire pigs were used as experimental subjects. After measuring growth performance traits such as ADG, blood samples were collected from the anterior vena cava of the pigs to assess 23 hematological indicators and 21 blood biochemical indicators. Subsequently, 30 pigs with high ADG and 30 with low ADG were selected from the cohort. Indicators were compared between the two groups, and partial correlation analysis was conducted between all measured parameters and ADG across the entire sample. The results showed that the high ADG group had significantly higher levels of eosinophil count (EO#) and percentage (EO%), alanine aminotransferase (ALT), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), C-reactive protein (CRP), and immunoglobulin M (IgM), as compared with the low ADG group ($P < 0.05$). In contrast, basophil percentage (BASO%), mean platelet volume (MPV), and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were significantly lower in the high ADG group ($P < 0.05$). According to the partial correlation analysis, BASO% was significantly negatively correlated with ADG ($P < 0.05$). Additionally, parameters including red cell distribution width standard deviation (RDW-SD), white blood cell count (WBC), and lymphocyte percentage (LYMPH%) exhibited

收稿日期: 2025-12-17; 修回日期: 2026-07-24

基金项目: 山东省重点研发计划项目 (2022LZGC003); 山东省自然科学基金项目 (ZR2022QC073); 山东省生猪产业技术体系项目 (SDAIT-08-03)

第一作者: 倪海花, 女, 硕士研究生

* 通信作者: 王继英, 研究员, 研究方向为猪遗传育种, E-mail: jnwangjiying@163.com; 李晓, 副教授, 研究方向为优良猪肉品质形成的生理学和遗传学基础, E-mail: nicelixiao@nwsuaf.edu.cn。

trends toward correlation with ADG. This study identified multiple blood parameters closely linked to ADG in pigs, encompassing physiological aspects such as immune function (BASO, WBC, LYMPH) and hematological morphology (RDW-SD, RDW-CV). These findings provided a hematological basis for understanding the physiological regulation of ADG in pigs and suggested potential biomarkers for early prediction of growth performance and breeding selection.

Keywords: average daily gain; Yorkshire pigs; hematological indicators; blood biochemical indicators

生长性能是影响养猪生产效益的核心要素，其中平均日增重（ADG）是量化猪生长速度与性能水平的关键指标^[1-2]，提升 ADG 对满足市场需求、实现养殖经济效益最大化至关重要。ADG 受遗传背景、环境条件、营养水平、机体生理状态等多因素影响^[3-4]，解析 ADG 的生理机制并筛选影响其关键生物标记物，对高效育种与生猪生产具有重要意义。血液作为维持机体代谢平衡和调节生理功能的重要介质，其组分的动态变化可客观反映动物的代谢强度、营养状况及健康水平^[5-6]。研究表明，血液指标具有较高的遗传性和可重复性^[7-8]。Zaitsev 等^[9]发现，杜洛克猪在育肥期间的血液指标趋于稳定，测定其血液指标可用于评估其生理状态与饲养管理效果等。Lindholm-Perry 等^[10]研究发现，红细胞类指标的变化可能会提高携氧能力进而影响 ADG。Wang 等^[11]在给早期断奶仔猪补充脯氨酸和腐胺研究中发现，血清生化指标与氨基酸之间也存在相关性。宋延飞^[12]研究表明，免疫球蛋白等血液免疫指标可能与杜长大三元杂交猪生长发育有关。然而，现有研究多侧重于某一类血液生理或生化指标，或局限于小群体组间比较，缺乏在大群体中系统分析不同生长性能个体间血液生理与生化指标差异并进行相关性验证的研究。基于此，本试验以集约化饲养的大约克猪为研究对象，系统比较血液指标在高、低 ADG 组间差异和在大群体 ADG 中的变化趋势，筛选影响 ADG 的关键血液标志物，为揭示生猪生长性能的生理代谢调控机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验猪选择及 ADG 测定

试验猪均来自滨州华育种猪有限公司。选择出生日期相近、健康的大约克仔猪 210 头，均为母猪，自保育期结束后（70 日龄左右）开始测定，直至 155 日龄左右时结束测定。试验猪在配备正压通风与亚高效空气过滤系统的猪舍内饲养，每个栏舍 8 头，饲养密度 1.0 m²/头。试验饲料参照 NY/T 65—2004《猪饲养标准》进行配制，自由采食和饮水。在试验开始和结束时，分别测定猪的空腹体重作为初始体重和结束体重，并计算 ADG。

1.2 血液采集与处理

在生长性能测定结束 5~7 d 后，试验猪禁食

12 h，使用一次性注射器采集试验猪前腔静脉血约 10 mL，其中约 2 mL 注入 EDTA-K₂ 抗凝采血管，颠倒数次混匀后，置于 4 ℃ 保温盒中暂存，待后续用于血液生理指标的测定；约 8 mL 注入真空促凝管中，静置 40 min 后，以 3 000 r/min 的转速离心 10 min，分离得到血清，分装后置于 -80 ℃ 冰箱中保存，待后续用于血液生化指标的测定。

1.3 血液生理指标测定

在血液采集后的 12 h 内，使用全自动血液细胞分析仪（BC-5000Vet，深圳迈瑞）进行血常规指标测定。具体指标可分为红细胞、白细胞和血小板三类共 23 项指标。红细胞类指标 8 项：红细胞类计数（RBC）、血红蛋白（HGB）、红细胞比积（HCT）、平均红细胞容积（MCV）、平均红细胞血红蛋白量（MCH）、平均红细胞血红蛋白浓度（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）；白细胞类指标 11 项：白细胞计数（WBC）、中性粒细胞绝对值（NEUT#）、中性粒细胞百分率（NEUT%）、淋巴细胞数（LYMPH#）、淋巴细胞百分率（LYMPH%）、单核细胞数（MONO#）、单核细胞百分率（MONO%）、嗜酸性粒细胞数（EO#）、嗜酸性粒细胞百分率（EO%）、嗜碱性粒细胞（BASO#）和嗜碱性粒细胞百分率（BASO%）；血小板类占比 4 项：血小板计数（PLT）、血小板比容（PCT）、平均血小板体积（MPV）和血小板分布宽度（PDW）。

1.4 血液生化指标测定

采用全自动生化分析仪（7100，日本日立）对血液生化指标进行检测，具体包括：丙氨酸氨基转移酶（ALT）、天冬氨酸氨基转移酶（AST）、总胆红素（TBIL）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、腺苷脱氨酶（ADA）、碱性磷酸酶（ALP）、尿素（Urea）、血清肌酐（Cr）、总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）、载脂蛋白 A1（ApoA-1）、肌酸激酶（CK）、乳酸脱氢酶（LDH）、C-反应蛋白（CRP）、免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 M（IgM）、葡萄糖（GLU）和乳酸（LACT）共 21 项指标。

1.5 数据统计和分析

经 Excel 2024 对数据进行初步整理，剔除未完成

测定或数据异常的个体，最终获得 198 头试验猪的有效数据，结果以“平均值±标准差”表示。采用 R4.5.1 软件进行统计分析，运用 *t* 检验分析高、低 ADG 组间血常规与血液生化指标的显著性差异，并利用 R4.5.1 的 pcor 包进行 ADG 与血液生理生化指标的偏相关性分析。

2 结果

2.1 高、低 ADG 大约克猪生长性能比较

对 198 头大约克猪 ADG 进行测定，结果显示(图 1)，试验猪群在试验期内的平均日增重为 856.22 g，最低值为 680.01 g，最高值为 1 071.35 g，变异系数达 9.64%，表明该试验猪群存在较大的 ADG 变异。

为了探究高、低 ADG 猪间的差异，在控制初始体重的前提下，从该群体中选取了 ADG 较高（高 ADG 组）与较低（低 ADG 组）的猪各 30 头，并对 2 组猪的生长性能指标进行独立样本 *t* 检验。结果表明（表 1），高、低 ADG 组在初始体重、开测日龄和结测日龄上均无显著差异（*P*>0.05），而在结束体重和 ADG 这 2 项指标上，高 ADG 组均极显著高于低 ADG 组（*P*<0.001），可作为后续血液生理、生化指标比较分析的有效比较样本。

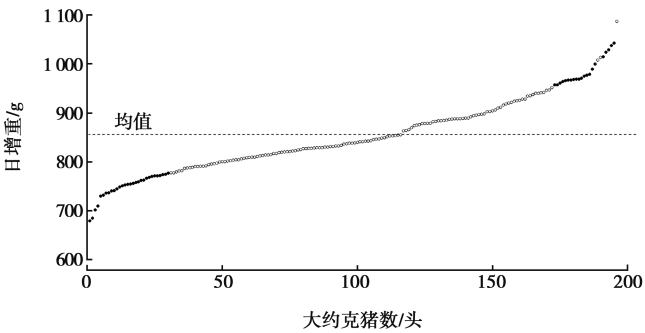


图 1 大约克猪群体中 ADG 的水平分布

表 1 高、低 ADG 大约克猪组间生长性能比较

性状	全部个体 (<i>n</i> = 198)	高 ADG 组 (<i>n</i> = 30)	低 ADG 组 (<i>n</i> = 30)
初始体重/kg	23.67±3.37	24.58±2.06	24.94±2.81
开测日龄/d	70.27±2.74	71.03±2.66	69.63±3.01
结测日龄/d	155.30±2.65	155.60±2.59	154.90±2.59
结束体重/kg	94.37±7.49	105.00±5.21 ^A	87.02±2.06 ^B
日增重/g	856.22±82.56	986.47±60.42 ^A	748.33±25.68 ^B

注：高、低 ADG 组间比较，不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01）。下同。

2.2 高、低 ADG 大约克猪血常规指标比较分析

由表 2 可知，检测的 23 项血常规指标中，共有 4 项指标在高、低 ADG 组间存在显著差异（*P*<0.05）。在白细胞及其分类计数指标方面，高 ADG 组的 EO#、EO% 均显著高于低 ADG 组（*P*<0.05），而 BASO% 则显著低于低 ADG 组（*P*<0.05）。在血小板类指标中，高 ADG 组的 MPV 显著低于低 ADG 组（*P*<0.05）。其余指标在 2 组间差异均不显著（*P*>0.05）。

表 2 高、低 ADG 大约克猪组间血常规指标比较

血常规指标	全部个体 (<i>n</i> = 198)	高 ADG 组 (<i>n</i> = 30)	低 ADG 组 (<i>n</i> = 30)
RBC/(10 ¹² ·L ⁻¹)	7.81±0.70	7.87±0.91	7.67±0.70
HGB/(g·L ⁻¹)	133.63±9.75	132.26±10.25	131.07±10.76
HCT/%	41.48±3.45	40.98±4.07	40.79±3.76
MCV/fL	53.02±2.31	52.26±2.72	53.19±2.52
MCH/pg	17.10±0.87	16.89±1.03	17.11±1.01
MCHC/(g·L ⁻¹)	322.11±13.44	323.63±12.84	321.79±10.59
RDW-SD/fL	36.81±1.81	36.84±2.20	36.44±2.35
RDW-CV/%	19.26±0.93	19.47±0.96	19.14±1.00
WBC/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	18.49±3.34	19.62±5.83	18.95±5.17
NEUT#/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	9.92±3.27	10.97±4.86	10.66±4.68
NEUT/%	54.11±10.82	54.50±11.57	55.11±11.32
LYMPH#/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	6.55±1.89	6.63±2.00	6.49±2.09
LYMPH/%	36.09±9.72	35.37±10.89	35.05±9.82
MONO#/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	0.69±0.32	0.71±0.37	0.82±0.55
MONO/%	3.87±1.67	4.09±2.35	3.73±1.79
EO#/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	0.68±0.33	0.87±0.43 ^a	0.61±0.26 ^b
EO/%	3.86±1.83	4.53±2.11 ^a	3.41±1.58 ^b
BASO#/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	0.35±0.34	0.32±0.38	0.48±0.37
BASO/%	1.91±1.86	1.50±1.69 ^a	2.70±2.13 ^b
PLT/(10 ⁹ ·L ⁻¹)	354.76±76.42	379.19±91.03	369.57±78.91
PCT/%	0.30±0.06	0.31±0.07	0.31±0.06
MPV/fL	8.38±0.59	8.15±0.53 ^a	8.56±0.65 ^b
PDW/%	15.22±0.23	15.19±0.23	15.23±0.29

注：高、低 ADG 组间比较，不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下同。

2.3 高、低 ADG 大约克猪血液生化指标比较分析

由表 3 可以看出，检测的 21 项血液生化指标中，共有 5 项指标在高、低 ADG 组间存在显著差异（*P*<0.05）。在与肝功能相关的指标中，高 ADG 猪组的 ALT 水平显著高于低 ADG 组（*P*<0.05）。在血脂类指标中，高 ADG 组的 LDL-C 水平显著高于低 ADG 组（*P*<0.01），而 HDL-C 则显著低于低 ADG 组

($P<0.05$)。在炎症和免疫指标方面,高 ADG 组的 CRP 和 IgM 水平均显著高于低 ADG 组 ($P<0.05$ 和 $P<0.01$)。

表 3 高、低 ADG 大约克猪组间血液生化指标比较

生化指标	全部个体 ($n=198$)	高 ADG 组 ($n=30$)	低 ADG 组 ($n=30$)
ALT/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	81.62±19.43	87.33±24.03 ^a	75.64±15.42 ^b
AST/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	133.61±76.60	142.91±83.55	132.16±69.51
TBIL/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.30±1.35	2.35±1.27	2.39±1.41
TP/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	72.35±3.69	73.31±4.08	72.74±3.99
ALB/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	33.54±2.29	33.66±2.37	33.66±1.89
ADA/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.88±1.41	3.83±1.36	3.83±1.56
ALP/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	129.69±33.11	124.98±30.22	132.39±33.34
Urea/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.80±1.03	4.75±1.22	4.85±0.85
Cr/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	112.09±16.31	111.15±15.93	110.05±16.14
TC/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.54±0.30	2.58±0.28	2.45±0.27
TG/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.46±0.14	0.46±0.14	0.45±0.15
LDL-C/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.33±0.25	1.39±0.28 ^A	1.20±0.22 ^B
HDL-C/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.63±0.19	0.57±0.19 ^a	0.68±0.18 ^b
ApoA-I/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.13±0.02	0.13±0.02	0.14±0.02
GLU/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.88±0.55	4.90±0.58	4.91±0.53
LACT/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.18±3.19	8.09±3.65	6.87±2.58
CK/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 716.11±	1 261.77±	1 518.47±
	1 840.90	1 653.01	1 739.21
LDH/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	997.92±	1 110.04±	972.85±
	354.28	476.07	348.16
CRP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	26.95±6.96	29.69±7.75 ^a	25.20±7.59 ^b
IgG/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.94±0.79	4.07±0.72	4.11±0.71
IgM/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.94±0.24	1.07±0.23 ^A	0.88±0.23 ^B

2.4 大约克猪 ADG 与血常规指标相关性分析

为评估血液指标与大约克猪群体 ADG 的关联,基于 198 头猪群体的测定数据,进一步开展了 ADG 与各项血液生理指标间偏相关性分析。结果表明,共有 11 项血液生理指标与 ADG 存在显著偏相关 ($P<0.05$)。其中,在红细胞类指标中,RBC ($r=0.203$)、MCHC ($r=0.192$)、RDW-SD ($r=0.315$) 与 ADG 呈显著正相关 ($P<0.05$),而 RDW-CV ($r=-0.288$) 与 ADG 显著负相关 ($P<0.05$);在白细胞类相关指标中,WBC ($r=0.241$)、NEUT% ($r=0.193$)、LYMPH% ($r=0.227$)、BASO# ($r=0.274$) 与 ADG 呈显著正相关 ($P<0.05$),而 NEUT# ($r=-0.203$)、LYMPH# ($r=-0.241$)、BASO% ($r=-0.273$) 则与 ADG 呈显著负相关 ($P<0.05$)。其余指标如 HGB、PLT 等则与 ADG 无显著偏相关 (表 4)。

表 4 血常规指标与群体 ADG 偏相关性分析

血常规指标	群体偏相关性分析	
	偏相关系数 r	P 值
RBC/($10^{12} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.203	0.014
HGB/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.123	0.140
HCT/%	-0.033	0.693
MCV/fL	0.107	0.199
MCH/pg	-0.152	0.067
MCHC/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.192	0.021
RDW-SD/fL	0.315	0.000
RDW-CV/%	-0.288	0.000
WBC/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.241	0.004
NEUT#/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.203	0.014
NEUT/%	0.193	0.020
LYMPH#/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.241	0.004
LYMPH/%	0.227	0.006
MONO#/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.053	0.525
MONO/%	0.083	0.324
EO#/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.058	0.485
EO/%	-0.028	0.740
BASO#/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.274	0.001
BASO/%	-0.273	0.001
PLT/($10^9 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.008	0.921
PCT/%	-0.086	0.304
MPV/fL	-0.138	0.098
PDW/%	-0.124	0.136

2.5 大约克猪 ADG 与血液生化指标相关性分析

基于群体测定数据,进一步对血液生化指标与 ADG 的偏相关性展开分析,结果如表 5 所示。仅 IgM 与 ADG 呈近似正相关 ($r=0.154$, $P=0.052$),其他血液生化指标与 ADG 均无显著偏相关性 ($P>0.05$)。

表 5 血液生化指标与群体 ADG 偏相关性分析

分类	生化指标	群体偏相关性分析	
		偏相关系数 r	P 值
肝功能	ALT/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.050	0.530
	AST/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.067	0.403
	TBIL/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.113	0.158
	TP/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.068	0.392
	ALB/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.020	0.803
	ADA/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.089	0.265
	ALP/($\text{IU} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.004	0.959
肾功能	Urea/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.068	0.398
	Cr/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.064	0.423

续表5

分类	生化指标	群体偏相关性分析	
		偏相关系数 <i>r</i>	<i>P</i> 值
血脂	TC/ (mmol · L ⁻¹)	-0.039	0.627
	TG/ (mmol · L ⁻¹)	0.119	0.134
	LDL-C/ (mmol · L ⁻¹)	0.086	0.281
	HDL-C/ (mmol · L ⁻¹)	-0.063	0.433
	ApoA-I/ (g · L ⁻¹)	-0.076	0.342
糖代谢	GLU/ (mmol · L ⁻¹)	-0.008	0.916
	LACT/ (mmol · L ⁻¹)	0.004	0.956
心肌酶	CK/ (U · L ⁻¹)	0.078	0.328
	LDH/ (mmol · L ⁻¹)	0.027	0.733
炎症	CRP/ (mg · L ⁻¹)	0.012	0.884
免疫	IgG/ (g · L ⁻¹)	0.006	0.936
	IgM/ (g · L ⁻¹)	0.154	0.052

3 讨论

血液生理指标是评价动物生理状态的重要依据，其中，红细胞通过细胞内血红蛋白在不同组织之间运输必需物质，以维持酸碱平衡；白细胞是抵御微生物入侵的重要防御工具；血小板参与血栓形成、伤口愈合和炎症反应^[13-15]。本研究采用组间比较以及群体偏相关性的方法，系统分析了血液指标与大约克猪 ADG 的关联。

近年来，BASO 已成为系统性及组织特异性免疫反应中的关键效应细胞^[16]，能够整合多种适应性和先天免疫信号^[17]。在本研究中，高 ADG 组的 BASO%显著低于低 ADG 组，且偏相关分析进一步证实两者呈显著负相关。Mpetile 等^[18]研究发现，与高剩余采食量系仔猪相比，低剩余采食量系仔猪的 BASO 数较低，这也与本研究组间差异和群体偏相关性分析结果相一致。低 ADG 组 BASO%较 ADG 组水平高，暗示低 ADG 组可能存在一定的免疫应激，而这种趋势可能制约了其生长发育。高 ADG 组个体表现出更低的 BASO%，可能反映了生长性能优越猪比低 ADG 组的免疫资源配置更优化，即在快速生长期间，高 ADG 组猪可能倾向于维持一个更基础的免疫监视，而非高反应性的免疫应答状态。本研究还发现，大约克猪群体 WBC、LYMPH%这 2 种免疫细胞类指标与 ADG 呈显著正相关，这一结果说明，健康猪整体免疫系统活跃未必会损害其生长性能，还可能是评判大约克猪健康与生长潜力的一项综合性标志，即高 ADG 组比低 ADG 组拥有更健康且活跃的先天性免疫和适应性免疫系统，能够更有效地控制环境中潜在病原体的感染，维持机体内外环境健康等，从而更

利于猪的营养吸收和生长。Ghomsi 等^[19]在 Bandjock 本地猪 (BLP) 和杜大杂交猪 (DLW) 研究也发现，DLW 的 ADG 和 WBC 均显著高于 BLP，ADG 等性能高的猪具有较高的 WBC，与本研究结果相一致。

此外，本研究发现 RBC、MCHC 及 RDW-SD 这些红细胞参数虽然组间比较未达显著水平，但在大群体关联分析中均一致呈现出与群体 ADG 存在显著偏正相关。RBC 核心功能为运输氧气^[20]，负责将氧气从肺部输送到身体各组织，而氧气是线粒体氧化磷酸化产生 ATP 的最终底物^[21]，是支持蛋白质合成和肌肉生长的能量代谢基础。体内 RBC 上升，则机体单位体积血液中氧气载体增多。同时，MCHC 代表 RBC 中血红蛋白的平均程度，其水平的上升反映单个 RBC 内血红蛋白的浓度增加^[22]。RDW-SD 用于定量测量细胞异质化的程度，其增加反映了 RBC 间大小的异质性程度^[23]，其水平上升可能表明骨髓 RBC 生成活动旺盛，新生的、体积略大的 RBC 释放入血的比例升高，这可能暗示着机体对高代谢需求的一种代偿性反应。RDW-CV 也是反映 RBC 体积大小离散程度的一个重要指标，其大小表示 RBC 体积大小的离散程度占 MCV 百分比，计算时受 MCV 影响^[23]。可以合理推测，在高 ADG 个体中，虽然新生成的大 RBC 拉高了体积的绝对离散度 (SD 增高)，但若其 MCV 本身也处于较高或适宜水平，那么体积的相对变异 (CV) 可能并未扩大，这表明高生长性能个体内，RBC 系统在积极响应机体快速生长需要的同时，依然保持着良好的群体协调性和稳态控制。综合上述指标来看，在快速生长的个体可能特征是，其 RBC 系统在积极应对生长需求的同时，仍能维持一个良好的内稳态与功能均质性平衡。

在血液生化指标中，部分指标 (如 ALT、LDL-C、HDL-C、IgM、CRP) 在组间比较中显示出显著差异，但在全群偏相关分析中，所有血液生化指标均未与 ADG 达到统计学上的显著相关。因为组间比较筛选的是 ADG 极端个体，这种两极化的抽样放大了生理代谢状态的差异，从而使部分生化指标的组间异质性达到了统计学显著水平。而在全群血液指标谱中，这种变化可能被群体内更大的个体差异和非线性关系所削弱，且这些生化指标 (如血脂相关指标等) 并非直接决定着机体 ADG，而是作为下游效应标志物或与其他更直接的生理过程 (如采食量等) 相关联。组间差异可能反映了长期适应性的结果，而非与生长速度实时同步变化的影响因素。因此，高 ADG 组猪所表现出的独特血脂谱 (高 LDL-C、低 HDL-C) 与更高水平的 IgM、CRP，更可能被视为其长期高代谢水平与活跃免疫状态伴随的生理特征，而非直

接调控 ADG。

4 结论

本研究测定了高、低 ADG 大约克猪的血液指标，并进一步分析了各项血液指标与群体生长性能的偏相关性。结果表明高、低 ADG 大约克猪组间在多项血液生理生化指标存在显著差异，群体 ADG 与 RDW-SD、WBC 和 BASO% 等多项指标显著偏相关。上述结果表明，血液指标可作为评价大约克猪生长性能的重要参考。然而，本研究筛选出的影响 ADG 的指标，是驱动生长的原因还是生长带来的结果仍有待阐明。本研究为解析生猪生长性能的生理基础提供了新的见解。

参考文献：

[1] Huang M, Zhang W, Dong J, et al. Genome-wide association studies of body weight and average daily gain in Chinese Dongliao black pigs [J]. *Int J Mol Sci*, 2025, 26 (7): 3453.

[2] 张长亮, 徐志婷, 郭凯旋, 等. 杜洛克猪平均日增重的全基因组关联分析 [J]. *中国畜牧兽医*, 2025, 52 (10): 4822-4829.

[3] Raza S H A, Pant S D, Zhao G, et al. Impact of wheat processing on growth, serum biochemistry, and ruminal microbiota in sheep (*Ovis aries*) [J]. *Microb Pathogen*, 2024, 195: 106887.

[4] 郑浩, 张馨蕊, 施安, 等. 滩羊肠道菌群和血浆代谢物与平均日增重的相关性分析 [J]. *动物营养学报*, 2025, 37 (9): 6267-6280.

[5] Zhang S, Yu B, Liu Q, et al. Assessment of hematologic and biochemical parameters for healthy commercial pigs in China [J]. *Animals*, 2022, 12 (18): 2464.

[6] Zaitsev S Y, Voronina O A, Kolesnik N S, et al. Correlations and variations between the major biochemical parameters of the blood of hybrid swine [J]. *Animals*, 2024, 14 (20): 3002.

[7] Ballester M, Ramayo-Caldas Y, González-Rodríguez O, et al. Genetic parameters and associated genomic regions for global immunocompetence and other health-related traits in pigs [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1): 18462.

[8] Siberski-Cooper C J, Mayes M S, Gorden P J, et al. The genetic architecture of complete blood counts in lactating Holstein dairy cows [J]. *Front Genet*, 2024, 15: 1360295.

[9] Zaitsev S Y, Belous A A, Voronina O A, et al. Correlations be-

tween antioxidant and biochemical parameters of blood serum of Duroc breed pigs [J]. *Animals*, 2021, 11 (8): 2400.

[10] Lindholm-Perry A K, Kuehn L A, Wells J E, et al. Hematology parameters as potential indicators of feed efficiency in pigs [J]. *Transl Anim Sci*, 2021, 5 (4): txab219.

[11] Wang J, Xiao Y, Li J, et al. Serum biochemical parameters and amino acids metabolism are altered in piglets by early-weaning and proline and putrescine supplementations [J]. *Anim Nutr*, 2021, 7 (2): 334-345.

[12] 宋延飞. 不同品系三元杂交组合仔猪生长性能及血清生化指标比较研究 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021 (1): 55-58.

[13] Tefferi A, Hanson C A, Inwards D J. How to interpret and pursue an abnormal complete blood cell count in adults [J]. *Mayo Clinic Proc*, 2005, 80 (7): 923-936.

[14] Seo I H, Lee Y J. Usefulness of complete blood count (CBC) to assess cardiovascular and metabolic diseases in clinical settings: a comprehensive literature review [J]. *Biomedicines*, 2022, 10 (11): 2697.

[15] Yang T, Luo H, Lou W, et al. Genetic background of hematological parameters in Holstein cattle based on genome-wide association and RNA sequencing analyses [J]. *J Dairy Sci*, 2024, 107 (7): 4772-4792.

[16] Siracusa M C, Kim B S, Spergel J M, et al. Basophils and allergic inflammation [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2013, 132 (4): 789-801.

[17] Chen K, Hao Y, Guzmán M, et al. Antibody-mediated regulation of basophils: emerging views and clinical implications [J]. *Trends Immunol*, 2023, 44 (6): 408-423.

[18] Mpetile Z, Young J M, Gabler N K, et al. Assessing peripheral blood cell profile of Yorkshire pigs divergently selected for residual feed intake [J]. *J Anim Sci*, 2015, 93 (3): 892.

[19] Ghomsi S O M, Pechangou S N, Maafo R S, et al. Assessment of the digestibility, growth performance, hematological and serum biochemical profile of Bandjock Local Pigs (BLP) and Duroc X Large White pigs (DLW) [J]. *Vet Anim Sci*, 2024, 25: 100370.

[20] Amoudruz L, Economides A, Koumoutsakos P. The volume of healthy red blood cells is optimal for advective oxygen transport in arterioles [J]. *Biophys J*, 2024, 123 (10): 1289-1296.

[21] Murphy M P. How mitochondria produce reactive oxygen species [J]. *Biochem J*, 2009, 417 (1): 1-13.

[22] Cascio M J, DeLoughery T G. Anemia [J]. *Med Clin N Am*, 2017, 101 (2): 263-284.

[23] Li N, Zhou H, Tang Q. Red blood cell distribution width: a novel predictive indicator for cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. *Dis Markers*, 2017, 2017: 7089493.