

王婷婷, 黎焯, 赵书红, 等. 种猪采食行为与生长性状关联分析与实现[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(4): 240-247.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.04.030

## 种猪采食行为与生长性状关联分析与实现

王婷婷<sup>1</sup>, 黎焯<sup>1,2,3</sup>, 赵书红<sup>2</sup>, 雷明刚<sup>2</sup>, 刘望宏<sup>2</sup>, 刘诗尧<sup>1</sup>

1. 农业农村部智慧养殖技术重点实验室, 武汉 430070;
2. 农业农村部种猪质量监督检验测试中心(武汉), 武汉 430070;
3. 华中农业大学深圳营养与健康研究院/中国农业科学院深圳农业基因组研究所/  
岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心, 深圳 518000

**摘要** 为便于开展种猪采食性状研究及满足测定设备智能化发展需求,设计了一套基于物联网技术和Web技术的种猪性能测定信息管理系统。系统选取CAN总线进行数据双向传输,采用B/S(Browser/Server)前后端分离架构,前端基于Reactjs技术栈,后端采用flask web框架和MySQL数据库进行系统开发;2次测试结果表明,系统数据传输可靠性高,各功能模块满足预期设计要求,满足种猪性能测定实际使用需求;以杜洛克种猪为研究对象,分析采食性状与生长性状间的表型相关,并构建种猪达100 kg体质量日龄偏最小二乘回归(partial least square, PLS)预测模型,交叉验证结果显示PLS测试集平均决定系数为0.68,平均MAE为3.2 d,使用试验数据对PLS模型进行测试,测试结果表明可以将采食性状与生长性状结合对种猪生长速度进行预测。

**关键词** 种猪; 信息管理; 采食行为; 生长性能; 智能化设备; 精确育种

**中图分类号** S828.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)04-0240-08

农业农村部办公厅关于印发《国家畜禽良种联合攻关计划(2019—2022年)》的通知中,明确指出应立足于我国现代种业长远发展需求,积极开展瘦肉型种猪智能测定、种猪大数据遗传评估和猪种质资源分子鉴定等理论和应用技术研究,提升我国畜禽种业国际竞争力。种猪性能测定是客观评定种猪遗传育种工作的基础,欧美等发达国家已形成较为成熟的种猪性能测定育种体系。我国种猪育种工作尚处于起步阶段,当前以场内测定为主,种猪性能测定设备主要有美国OSBORNE公司FIRE系统、荷兰睿保乐Nedap PPT系统和法国ACEMO公司Acema64系统,国产设备较少<sup>[1]</sup>,其配套的种猪性能测定信息管理系统的主要功能是根据种猪耳标建立种猪生长性能测定记录,根据种猪的采食和体质量数据计算种猪的体质量变化、饲料转化率和日增重指标。

种猪性能测定设备为种猪采食行为研究提供了

有力的量化基础,正确了解种猪采食行为与生长性能之间的关系,可以有效提高育种的准确性,但现有种猪性能测定信息管理系统侧重于基础数据采集和生长性能指标计算,对种猪采食行为分析功能较少<sup>[2]</sup>。研究表明,生猪采食行为与品种<sup>[3]</sup>、养殖环境<sup>[4]</sup>、饲料<sup>[5]</sup>以及动物生长阶段<sup>[6]</sup>和生理状态<sup>[7]</sup>等有关,且具有中度至高度的遗传性。在进行种猪性能测定时,测定站将获取测定猪只的采食量和体质量信息,通过这些记录数据可以分析采食行为性状与生长性能性状之间的关系<sup>[8]</sup>,同一个测定站内猪只的采食行为也存在差异,造成这种差异的原因可能是群体中个体猪之间的社会等级和社会效应引起的<sup>[9]</sup>。合理挖掘和分析种猪采食信息,有助于了解猪只采食行为习性,提高养殖效率,因此亟待设计开发一套将采食行为分析与生长性状相结合的种猪性能测定信息管理系统。

本研究利用物联网技术和Web技术设计了集种

收稿日期: 2022-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31790414); 中央高校基本科研业务费专项(2662020GXPY009); 华中农业大学-中国农业科学院深圳农业基因组研究所合作基金项目(SZYJY2022031)

王婷婷, E-mail: tingtingwangwt@163.com

通信作者: 刘望宏, E-mail: wuliou@mail.hzau.edu.cn

猪生产性能测定性状表型值计算、采食行为分析和设备远程监控为一体的信息系统,并基于农业农村部种猪质量监督检验中心(武汉)杜洛克种猪测定数据分析了采食性状与生长性状间的相关关系,构建了种猪达100 kg体质量日龄预测模型,以期加快我国种猪育种由“经验育种”向“精确育种”转变<sup>[10]</sup>,为我国生猪育种体系优化升级提供参考和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 种猪性能测定信息管理系统总体结构

本研究在笔者所在课题组研制的种猪性能自动测定站上开展,测定站安装了RFID射频模块、体质

量和饲料质量称量模块以及通讯模块等。采用实时性强、稳定性高、扩展方便、被广泛用于农业机械数据传输的CAN总线进行数据的双向传输<sup>[11]</sup>。

信息系统采用前后端分离的B/S架构<sup>[12]</sup>以及MySQL数据库进行设计,用户无需安装客户端,使用浏览器即可访问信息系统<sup>[13]</sup>。信息管理系统设计后端选用python的轻量级web框架flask<sup>[14]</sup>,前端页面选用react框架,组件库选用Ant Design,图表库选用Bizcharts。种猪性能测定信息管理系统分为测定站实时监控、用户、种猪性能测定、采食行为分析、种猪采食行为与生长性状关联分析5大功能模块和20个子模块,如图1所示。

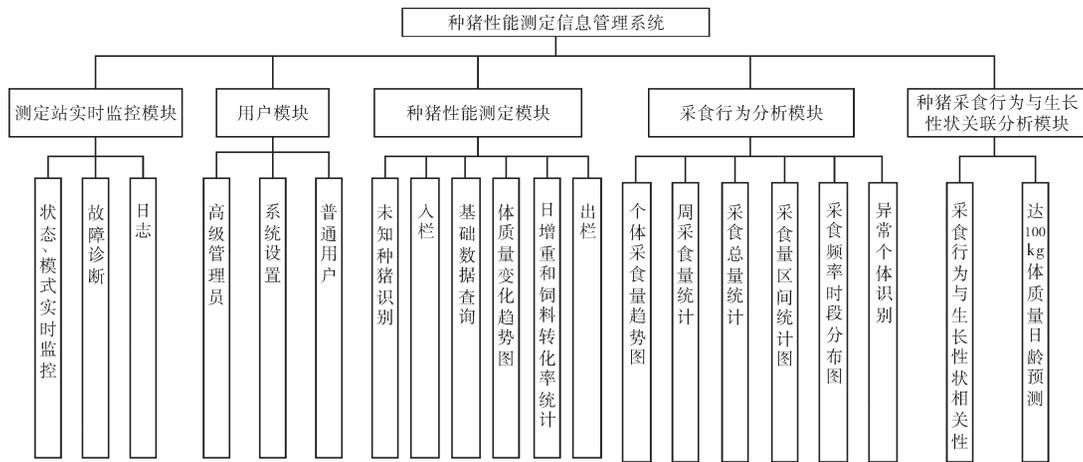


图1 系统功能模块划分

Fig.1 System junction module division

### 1.2 系统功能实现

1)系统初始化。服务器与CAN模块采用UDP协议连接,并通过socket类函数<sup>[15]</sup>进行数据的收发,初始化时开启3个threading线程同时完成数据的接收、处理和发送。在UDP协议上加入“确认”“重发”和“校验”机制,实现系统数据传输的稳定和快速传输,节约系统通讯资源<sup>[16]</sup>。考虑到系统数据为双向传输,且需对数据进行实时处理,系统采用多线程同时进行数据接收、处理和发送,提高系统处理效率。

2)系统用户模块。系统采用双用户级别,高级管理员具有系统设置权限,限制普通用户查看种猪基础数据时显示的数据列。为保障用户信息安全,采用hashlib.sha256()对用户明文密码进行哈希加密,基于token的方法验证用户登录状态。

3)测定数据解析协议设计。一条完整的种猪测定数据包括耳标号、测定站号、采食数据、体质量数据等,数据长度大于8个字节,必须将测定数据进行

分帧封装发送。同时接收多台测定站的测定数据,容易导致数据帧顺序错乱,出现“乱帧”现象,因此测定数据发送遵循询问→校验→重发机制,测定数据接收流程如图2所示。JSON格式的测定数据传输时被拆分为字节数组,使用“utf-8”将数据帧解码为字符串,然后再利用“json.load”将字符串解码为字典。

4)种猪性能测定模块。根据《种猪登记技术规范》(NY/T820)标准,使用15位的种猪号为种猪建立个体测定记录档案。将种猪号与耳标号、测定站号进行关联,耳标号、测定站号更改不影响种猪数据链。根据种猪日龄、体质量变化和采食量绘制其生长曲线,或计算日增重和饲料转化率,而出栏仅是填充出栏日期,种猪测定数据一直保留,有利于后期信息追溯。

5)种猪采食性状统计。测定数据解析成功后,根据种猪号进行采食次数、日采食量、日均体质量、

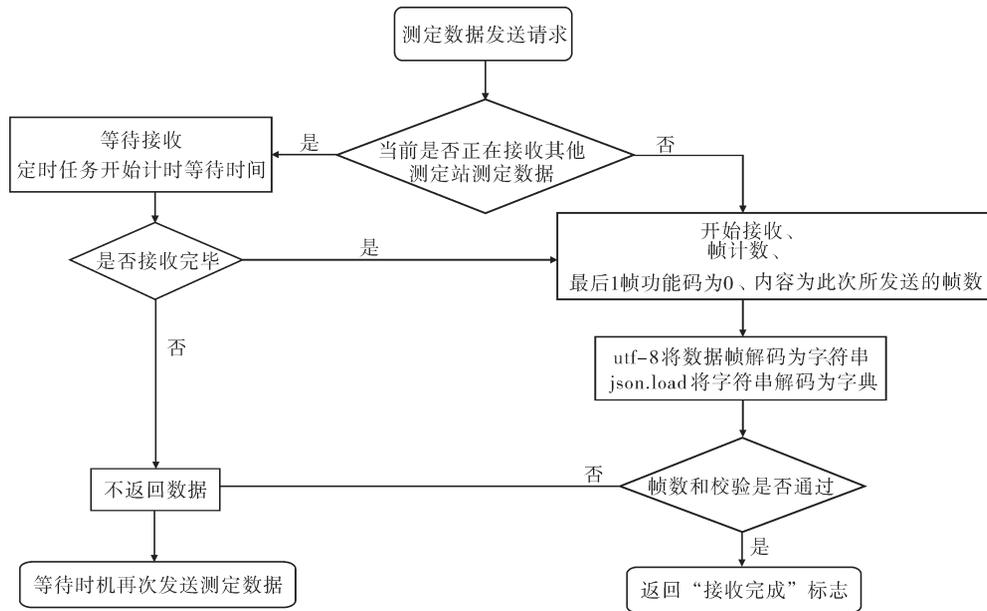


图2 测定数据接收流程图

Fig.2 Measurement data reception flow chart

日采食持续时长、采食变化量(与相邻前一日采食量的差值)、采食量变化率(采食变化量与前一天采食量的比值)、体质量变化量(与相邻前一日体质量的差值)和体质量变化率(体质量变化量与前一天体质量的比值)进行实时统计并更新至数据库,进而可计算种猪的采食速率、单次采食量等采食性状。

根据种猪的基础测定数据和统计数据,实现了种猪的个体采食量趋势、测定站周采食总量统计、每天的采食总量以及每次的采食时段和采食量频率统计和图表化。种猪采食行为与饲料水平、猪只体况、环境等因素相关,根据《种猪性能测定规程》异常个体识别办法,将采食量和体质量下降20%的种猪识别为异常个体,提示育种人员重点关注,降低种猪疾病感染风险。

### 1.3 种猪采食行为与生长性状分析

1)数据来源。选取农业农村部种猪质量监督检验中心(武汉)采用法国ACEMA种猪性能测定系统所测定的101头杜洛克种猪个体测定数据。种猪正式进行测定前和测定结束后空腹12 h,使用笼秤称量种猪体质量,测定期间测定设备自动记录种猪每次的采食量和采食时间。种猪生长性能测定性状包括达目标体质量日龄、测定期日增重(average daily gain, ADG)、目标体质量背膘厚(back fat, BF)和饲料转化率(feed conversion ration, FCR)。利用EXCEL2019对101头杜洛克种猪采食数据进行整理,根据《种猪生产性能测定规程》(NY/T 822—2019)计

算101头种猪的FCR、达30 kg体质量日龄(pig 30 kg weight age, AGE<sub>30</sub>)、达100 kg体质量日龄(pig 100 kg weight age, AGE<sub>100</sub>),并对背膘厚进行校正,生长性能测定性状数据描述见表1。

表1 种猪生长性能数据表型统计

Table 1 Phenotypic statistics of breeding pig growth performance data

指标 Index	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准差 Mean±SD
ADG/(g/d)	963.5	706.7	866.9±70.7
BF/mm	13.9	7.4	9.8±1.6
AGE <sub>100</sub> /d	180.8	144.4	161.4±8.3
FCR/(kg/kg)	2.41	1.94	2.13±0.11
AGE <sub>30</sub> /d	99.3	64.4	79.8±7.2

2)采食性状与生长性状相关性分析。计算每头种猪测定期间平均每天的采食量(average daily feed intake, ADFI)、采食次数(average daily number of visit to feeder, ANVD)、采食时长(average daily occupation time, AOTD)、采食速率(average daily feeding rate, ADFR)、单次采食量(average feed intake per visit across testing period, AFIV)等5个采食性状。利用SPSS 22.0计算ADG、BF、FCR和AGE<sub>100</sub>等4个生长性状与5个采食性状之间Pearson相关性,并进行显著性检验。

3)种猪达100 kg体质量日龄预测模型。ADG和AGE<sub>100</sub>是衡量种猪生长速度的2个重要指标,动物体质量随日龄呈“S”变化趋势<sup>[2]</sup>,因此,无法使用

ADG评价日龄和体质量相差较大的种猪生长速度。但 $AGE_{100}$ 可用于对比任意生长阶段种猪的生长速度, $AGE_{100}$ 越短表示种猪的生长速度越快。 $AGE_{100}$ 传统测量方法为种猪测定结束后使用笼秤等称量其体质量,根据日龄和体质量数据进行校正计算,无法提前淘汰生长速度缓慢种猪(种猪性能测定周期一般为2~3个月),并且称量体质量时易对种猪造成应激。

He等<sup>[17]</sup>发现在生猪体质量预测模型中加入采食行为特征时可有效提高模型的准确率和降低模型预测误差,因此选择开测1月内与生长速度具有显著相关性的采食性状特征和生长性状特征(开始测定时的日龄、体质量以及 $AGE_{30}$ )结合,对种猪 $AGE_{100}$ 进行提前预测。

采食性状特征间存在一定自相关性,PLS模型可以有效解决自变量之间的多重相关性,是一种集主成分分析和典型相关分析为一体的多元线性回归方法<sup>[18]</sup>。利用Python的sklearn库中“kFold”将101头种猪随机划分5折,循环使用其中4折80条数据用于PLS模型建模,1折21条数据用于模型测试。使用决定系数和平均绝对误差MAE作为预测模型的评价指标,决定系数反映预测值与实测值之间的拟合程度,MAE体现模型的预测值与实测值之间的误差。使用网格搜索法确定PLS模型的最佳主成分“n\_components”,搜索原则为训练集和测试集的准确率最高,并且测试集的准确率不高于训练集的准确率时所对应的成分个数。建模完成后,使用模型评价指标对模型进行评价。

### 1.4 系统传输和功能稳定性试验

1)系统通信可靠性试验。试验于2020年11月

23日至2021年2月7日在华中农业大学试验猪场展开,采用2台测定站分别测定5头体质量为(42.9±6.1) kg长白猪的生长性能,信息管理系统部署在阿里云ESC服务器。试验前在2台测定站内均放置存储测定数据的SD卡,试验结束后对比SD卡与信息管理系统MySQL数据库中的测定数据数量。

2)系统功能稳定性试验。试验于2021年5月1日至2021年6月30日在湖北龙王畜牧有限公司国家级生猪核心育种场展开,采用2台测定站分别测定11头杜洛克种猪的生长性能,测定日龄为95~105日龄,测定体质量为(35.4±6.5) kg,结测体质量应≥85 kg,否则不满足性状校正条件。

## 2 结果与分析

### 2.1 传输可靠性测试结果

第1次试验期间,MySQL数据库中共采集存储3774条采食记录,与SD卡内数据量一致,其中001号测定站采集到1799条采食记录,002号测定站采集到1975条采食记录。由此可见,由于系统具有数据“重发”机制,使得试验猪采食记录均成功采集存储,无采食数据丢失,表明系统数据传输可靠性强。

### 2.2 功能稳定性测试结果

第2次试验为一个完整的种猪生长性能测定试验,试验期间各功能运行稳定,满足预期设计要求。使用本研究所开发的种猪性能测定信息管理系统中“体质量变化趋势图”功能绘制试验期间010号测定站内11头杜洛克种猪的体质量变化趋势曲线,如图3所示,曲线连续且完整,无种猪数据缺失。

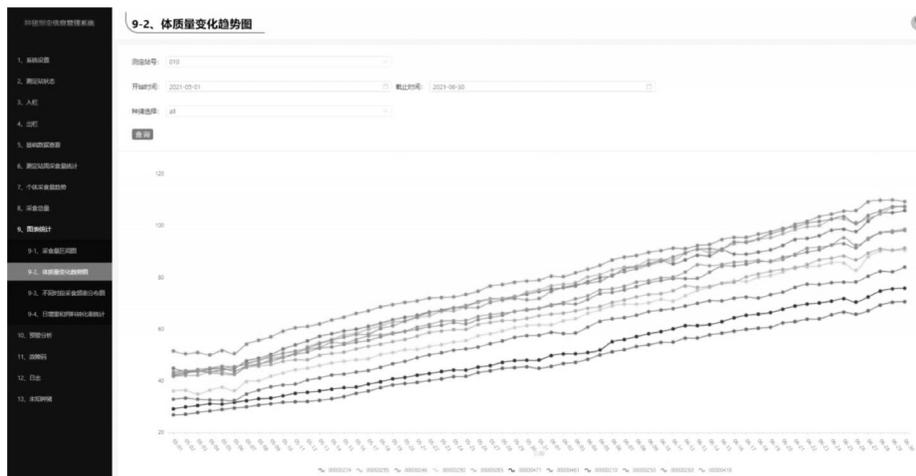


图3 试验种猪体质量变化趋势  
Fig.3 Body weight change trend

使用种猪性能测定信息管理系统中“日增重和饲料转化率统计”功能计算010号测定站内11头杜洛克种猪的ADG和FCR,结果如表2所示。

### 2.3 建模的种猪采食性状与生长性状分析

ADG、BF、AGE<sub>100</sub>和FCR等4个生长性能测定性状与ADFI、ANVD、AOTD、AFIV和ADFR等5个采食性状间Pearson相关性以及显著性检验结果如表3所示。

表3结果显示:①生长性状间相关性。ADG与BF呈现极显著正相关( $P<0.01$ )、与AGE<sub>100</sub>呈现极显著负相关( $P<0.01$ );BF与AGE<sub>100</sub>为显著负相关

( $P<0.05$ );而FCR与其他生长性状均未达到显著水平。②采食性状与生长性状相关性。ADFI与4个生长性能性状皆呈现极显著相关( $P<0.01$ );AFIV与ADG呈现极显著正相关( $P<0.01$ )、与AGE<sub>100</sub>呈现极显著负相关( $P<0.01$ );ADFR与ADG呈现显著正相关( $P<0.05$ )、与AGE<sub>100</sub>呈现极显著负相关( $P<0.01$ )、与FCR呈现极显著正相关( $P<0.01$ );而ANVD和AOTD与4个生长性状不存在显著相关性。③采食性状间相关性。ADFI与AFIV和ADFR存在极显著正相关( $P<0.01$ );ANVD与AFIV存在极显著负相关( $P<0.01$ )。

表2 试验种猪ADG和FCR

Table 2 ADG and FCR of test breeding pigs

指标 Index	种猪序号 Breeding pig serial number										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ADG/(g/d)	904.1	1 076.5	1 104.3	999.5	764.1	915.6	837.5	892.8	913.3	815.1	717.0
FCR/(kg/kg)	2.32	2.17	2.44	2.13	1.97	2.27	2.26	2.20	2.53	2.20	2.13

表3 建模的种猪采食性状与生长性状相关性

Table 3 The correlation between feeding traits and growth traits in modeled breeding pigs

性状 Trait	ADG	BF	AGE <sub>100</sub>	FCR	ADFI	ANVD	AOTD	AFIV	ADFR
ADG	1								
BF	0.584**(0.00)	1							
AGE <sub>100</sub>	-0.546**(0.00)	-0.212*(0.03)	1						
FCR	-0.107(0.28)	0.134(0.18)	-0.014(0.88)	1					
ADFI	0.762**(0.00)	0.417**(0.00)	-0.656**(0.00)	0.459**(0.00)	1				
ANVD	0.135(0.17)	0.068(0.49)	0.007(0.94)	0.021(0.83)	0.049(0.62)	1			
AOTD	0.195(0.05)	-0.027(0.79)	-0.084(0.05)	-0.003(0.97)	0.119(0.23)	-0.017(0.86)	1		
AFIV	0.265**(0.00)	0.14(0.16)	-0.321**(0.00)	0.162(0.10)	0.430**(0.00)	-0.849**(0.00)	0.081(0.42)	1	
ADFR	0.230*(0.02)	0.240*(0.01)	-0.290**(0.00)	0.294**(0.00)	0.468**(0.00)	0.02(0.84)	-0.792**(0.00)	0.19(0.06)	1

注:\*表示在0.05水平(双尾)相关性显著;\*\*表示在0.01水平(双尾)相关性显著,括号内数字为显著水平。下同。Note:\* indicates significant correlation at the 0.05 level (two-tailed); \*\* indicates significant correlation at the 0.01 level (two-tailed), the values in brackets are significant levels. The same as below.

### 2.4 种猪达100 kg体质量日龄预测模型

根据本文结果与分析“2.3”建模所用的种猪采食性状与生长性状间Pearson相关性,选择日采食量、单次采食量和采食速率3个与生长速度具有显著相关性的采食性状作为模型输入的采食特征,进行种猪达100 kg体质量日龄预测PLS建模。

PLS模型的最佳主成分“n\_components=3”,5折交叉验证的训练集平均决定系数为0.70,平均

MAE为3.4 d;测试集平均决定系数为0.68,平均MAE为3.2 d。选取5折交叉验证中训练集决定系数为0.71,MAE为3.2 d,测试集决定系数为0.69,MAE为3.2 d时作为PLS模型的最优解,回归方程标准化系数如式(1)所示。

$$\text{AGE}_{100} = 4.48 \times A - 0.27 \times B - 0.98 \times C - 2.93 \times D - 3.69 \times E - 1.56 \times F \quad (1)$$

式(1)中A为开始测定日龄;B为采食速率;C为单次采食量;D为日采食量;E为开始测定时体质量;

$F$ 为达30 kg体质量时日龄。

本研究中,测试集实测值与PLS模型预测值之间Spearman秩相关性为0.796( $P < 0.01$ ),表明模型预测的种猪生长速度排序与种猪实测生长速度排序的相关性较高。交叉验证和秩相关性结果证明结合种猪生长、体质量与采食行为特征能够对达100 kg

体质量日龄进行预测。

## 2.5 试验种猪采食性状与生长性状相关性结果

第2次试验结束时,满足结测条件的种猪为14头。生长性状与采食性状之间的Pearson相关性和显著性检验结果如表4所示,其中达100 kg体质量日龄为校正值。

表4 试验种猪采食性状与生长性状相关性

Table 4 The correlation between feeding traits and growth traits in test breeding pigs

性状 Trait	ADG	AGE <sub>100</sub>	FCR	ADFI	ANVD	AOTD	AFIV	ADFR
ADG	1							
AGE <sub>100</sub>	-0.738**(0.00)	1						
FCR	0.249(0.32)	-0.352(0.15)	1					
ADFI	0.891**(0.00)	-0.760**(0.00)	0.627**(0.00)	1				
ANVD	-0.273(0.27)	0.127(0.61)	-0.340(0.17)	-0.381(0.11)	1			
AOTD	-0.091(0.72)	0.072(0.77)	0.048(0.84)	-0.005(0.98)	0.002(0.99)	1		
AFIV	0.556*(0.01)	-0.407(0.09)	0.502*(0.03)	0.681**(0.00)	-0.875**(0.00)	-0.049(0.84)	1	
ADFR	0.577*(0.03)	-0.590**(0.00)	0.337(0.17)	0.579*(0.01)	0.332(0.17)	-0.782**(0.00)	0.534*(0.02)	1

由表4可见:①ADG与AGE<sub>100</sub>呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),但FCR和ADG、AGE<sub>100</sub>均无显著相关关系。说明日增重较大的种猪达到目标体质量所需的日龄较短,虽然日增重与饲料转化率并无显著相关性,但日增重和饲料转化率存在一定的遗传负相关,因此在育种工作中,生长速度和饲料转化率通常被同时进行选择。

②ADFI与ADG、AGE<sub>100</sub>和FCR均呈极显著相关( $P < 0.01$ ),AFIV和ADFR不同程度地显著影响种猪的生长速度和FCR,而AOTD和ANVD与生长性状却无明显相关性。说明种猪采食性状与生长性状密切相关,日采食量较高的种猪其生长速度也相对较快,但饲料利用率却较低。此外,相关性结果表明种猪采食次数和采食时长对其生长性状无明显影响,但单次采食量和采食速率却与4个生长性状均密切相关。

③ADFI与AFIV呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与ADFR呈显著正相关( $P < 0.05$ ),而与AOTD和ANVD无显著相关性。表明日采食量高的种猪其单次采食量和采食速率也相对较高,与每天的采食时长和采食次数无明显相关关系,但采食时长和采食次数却显著影响单次采食量和采食速率。

## 2.6 PLS模型验证

试验种猪的表型相关性与建模种猪采食性状与

生长性状相关性分析规律类似,因此可以使用试验种猪对种猪达目标体质量日龄PLS预测模型进行测试。将满足测定条件的14头种猪开测后1个月的标准采食性状(AFIV、ADFR和ADFI)与生长性状(开始测定时体质量和日龄、AGE<sub>30</sub>)等特征标准化后,使用式(1)进行AGE<sub>100</sub>预测。PLS模型预测日龄与实际达100 kg体质量日龄的平均MAE为5.3 d。

## 3 讨论

本研究在笔者所在课题组研制的种猪性能测定站基础上开展,使用CAN总线进行数据的双向传输,选用web框架开发了种猪性能测定信息管理系统,并对系统数据传输可靠性和功能运行稳定性展开试验,试验结果表明该信息管理系统与测定站间数据传输可靠性强,测定数据无丢失,试验期间各功能模块运行稳定,满足预期设计要求。

通过分析种猪采食性状与生长性状表型相关性,建立了种猪达100 kg体质量PLS预测模型,PLS模型5折交叉验证训练集平均决定系数为0.70、平均MAE为3.4 d;测试集平均决定系数为0.68,平均MAE为3.2 d。使用试验种猪测定数据对PLS模型进行测试,平均MAE为5.3 d。测试结果表明结合种猪的生长性状与采食性状特征,可对其生长速度进行预测。但试验种猪的MAE相较于建模数据多

2 d,其原因可能在于猪的生长速度与品种、环境、饲养水平等多因素相关,因此后续应增加建模数据量并考虑季节、饲料营养水平、品种等特征,以提高模型的泛化性,减小预测误差,为种猪生长速度预测提供有力的评估手段,缩短种猪性能测定周期,减少测定成本。

## 参考文献 References

- [1] 杨晓丹.猪自动生长性能测定设备的数据质量管控研究[D].杭州:浙江大学,2018.YANG X D.Study on data quality management and control of automated pig feed intake recording equipment [D].Hangzhou: Zhejiang University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [2] 熊本海,蒋林树,杨亮,等.种猪生产性能测定系统开发与性能测试[J].农业工程学报,2017,33(9): 174 - 179.XIONG B H, JIANG L S, YANG L, et al.Design and performance testing of production performance determination system for boar[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(9): 174 - 179. (in Chinese with English abstract)
- [3] 时超.杜洛克、长白、大白猪采食特性与生长性能研究[D].昆明:云南农业大学,2016.SHI C.Feeding characteristics and growth performances of Duroc, Landrace and Large White pigs [D].Kunming: Yunnan Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [4] 胡鸿晴,万家伟,李良华,等.福利玩具对群养栏妊娠母猪行为和繁殖性能的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(1): 103-110.HUH Q, WAN J W, LI L H, et al.Effects of welfare toys on behavior and reproductive performance of pregnant sows in group feeding system[J] Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(1): 103-110 (in Chinese with English abstract).
- [5] QUEMENEUR K, MONTAGNE L, GALL M L, et al. Relation between feeding behaviour and energy metabolism in pigs fed diets enriched in dietary fibre and wheat aleurone[J]. Animal, 2020, 14(3): 508-519.
- [6] FU X L, CHEN Y J, WU M T, et al. Analysis of York pigs' feeding behavior using stepwise regression and principal component regression [J]. Agricultural biotechnology, 2021, 10(2): 78-83.
- [7] 汪开英,赵晓洋,何勇.畜禽行为及生理信息的无损监测技术研究进展[J].农业工程学报,2017,33(20): 197 - 209.WANG K Y, ZHAO X Y, HE Y.Review on noninvasive monitoring technology of poultry behavior and physiological information [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 197-209 (in Chinese with English abstract).
- [8] YOUNG R J, LAWRENCE A B. Feeding behaviour of pigs in groups monitored by a computerised feeding system [J]. Animal science, 1994, 58(1): 145-152.
- [9] HOY S, SCHAMUN S, WEIRICH C. Investigations on feed intake and social behaviour of fattening pigs fed at an electronic feeding station [J]. Applied animal behaviour science, 2012, 139(1/2): 58-64.
- [10] 农业农村部.农业农村部关于落实好党中央、国务院2021年农业农村重点工作部署的实施意见\_农业、畜牧业、渔业\_中国政府网 [EB/OL] (2021-01-08) [2021-12-29] [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/01/content\\_5589458.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/01/content_5589458.htm). Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Implementation opinions of the ministry of agriculture and rural affairs on implementing the key work deployment of the party central committee and the state council in 2021\_agriculture, animal husbandry, fishery\_Chinese government network [EB/OL] (2021-01-08) [2021-12-29] [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/01/content\\_5589458.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/01/content_5589458.htm) (in Chinese).
- [11] FUGIGLANDO U, MASSARO E, SANTI P, et al. Driving behavior analysis through CAN bus data in an uncontrolled environment [J]. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2019, 20(2): 737-748.
- [12] 曹如月,李世超,魏爽,等.基于Web-GIS的多机协同作业远程监控平台设计[J].农业机械学报,2017,48(S1): 52-57, 141.CAO R Y, LI S C, WEI S, et al. Remote monitoring platform for multi-machine cooperation based on Web-GIS [J]. Transactions of the CSAM, 2017, 48(S1): 52-57, 141 (in Chinese with English abstract).
- [13] 丁友强,刘彦伟,杨丽,等.基于Android和CAN总线的玉米播种机监控系统研究[J].农业机械学报,2019,50(12): 33-41, 62.DING Y Q, LIU Y W, YANG L, et al. Monitoring system of maize precision planter based on android and CANBus [J]. Transactions of the CSAM, 2019, 50(12): 33-41, 62 (in Chinese with English abstract).
- [14] 都飞翔,杨静,史健芳.基于Flask与树莓派的智能交通控制平台[J].现代电子技术,2018,41(13): 88-91. DU F X, YANG J, SHI J F. Intelligent traffic control platform based on flask and raspberry pi [J]. Modern electronics technique, 2018, 41(13): 88-91 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴才聪,胡冰冰,韩碧云,等.区域农用GNSS基准站云端管理方法与系统研究[J].农业机械学报,2018,49(1): 143-150. WU C C, HU B B, HAN B Y, et al. Cloud based management method and system for regional agricultural GNSS reference stations [J]. Transactions of the CSAM, 2018, 49(1): 143-150 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈韬羽.基于UDP的带自适应冗余编码的无线P2P传输模型研究与实现[D].广州:华南理工大学,2019.CHEN T Y. ARCT: adaptive redundant coding transfer for wireless P2P using UDP [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [17] HE Y, TIEZZI F, HOWARD J, et al. Predicting body weight in growing pigs from feeding behavior data using machine learning algorithms [J/OL]. Computers and electronics in agriculture, 2021,

- 184: 106085 [2022-02-22]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106085>.
- [18] 张智韬,王海峰,韩文霆,等. 基于无人机多光谱遥感的土壤含水率反演研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(2): 173-181.
- ZHANG Z T WANG H F, HAN W T, et al. Inversion of soil moisture content based on multispectral remote sensing of UAVs [J]. Transactions of the CSAM, 2018, 49(2): 173-181 (in Chinese with English abstract).

## Association analysis and implementation of correlation between feeding behavior and growth traits in breeding pigs

WANG Tingting<sup>1</sup>, LI Xuan<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Shuhong<sup>2</sup>, LEI Minggang<sup>2</sup>, LIU Wanghong<sup>2</sup>, LIU Shiyao<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Smart Farming for Agricultural Animals, Wuhan 430070, China;

2. Center of Quality Test and Supervision for Breeding Swine (Wuhan), MOA, Wuhan 430070, China;

3. Shenzhen Institute of Nutrition and Health, Huazhong Agricultural University/

Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Shenzhen Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Shenzhen 518000, China

**Abstract** In order to study feeding traits of breeding pigs and to meet the demand for intelligent development of measuring equipment, a set of information management system based on internet of things and web technology was designed. The system selects CAN bus for bi-directional data transmission, and adopts B/S (Browser/Server) front and back-end separation architecture. The front-end was based on Reactjs technology stack, and the back-end was developed with flask web framework and MySQL database. The results of two measurement tests showed that the data transmission reliability of the system is high, and functional modules meet the expected design requirements and the practical application requirements of performance measurement of breeding pigs. The phenotypic correlation between feeding traits and growth traits was analyzed in Duroc breeding pigs, and a partial least square (PLS) prediction model was constructed for breeding pigs up to 100 kg body weight. The cross-validation results showed that an average determination coefficient of PLS test set was 0.68 and the average MAE was 3.2 day. The PLS model was tested using experimental data, and the results showed that combination of feeding traits and growth traits could be used to predict the growth rate of breeding pigs in advance.

**Keywords** breeding pig; information management; feeding behavior; growth performance; intelligent equipment; accurate breeding

(责任编辑:边书京)