

奶牛饲喂自动机电控制系统的设计与试验

熊本海¹, 蒋林树², 杨亮¹, 王坤¹, 潘晓花¹

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 北京农学院, 奶牛营养学北京市重点实验室, 北京 102206)

摘要: 为开展奶牛精准饲喂及采食行为学研究, 设计了一种集自动识别、饲喂、数据自动采集、数据分析与处理于一体的奶牛饲喂自动机电控制系统。该系统包括机械装置、电子识别系统、料槽称质量系统、中央控制系统、现场数据存贮及远程数据提取与分析系统等几部分。其中, 机械装置包括料斗、支撑座、栏杆和阻挡单元等; 电子识别系统包括阅读天线及料门启闭的气动装置; 料槽称质量系统除支撑座外, 还有嵌入的质量传感器及线路; 中央控制系统包括微处理器、看门狗复位电路、读卡器电路、称质量数据采集电路、数据通信电路、数据收发器电路及外围驱动与稳压电路等。现场数据存贮电路接受来自各个饲喂系统的中央控制系统发送的采食行为数据, 其主板结构与中央控制系统基本一致, 预设可存贮记录数为 14 000 条, 且采用堆栈数据存贮模式。远程 PC 端数据提取与分析系统实时管理采食行为数据, 并提供多功能的数据挖掘分析。系统测试结果表明, 对牛只低频 RFID (134 kHz) 电子耳标的识读率为 100%, 料及槽的计量范围为 0.01~200 kg, 最低称量精度 10 g, 实际称量相对误差 $\leq 0.15\%$, 同时满足奶牛对最大采食量及精准饲喂对计量的需求。系统的采食行为试验表明, 奶牛的日均采食次数、采食时间及采食量等采食行为均差异显著 ($P<0.05$), 符合奶牛的采食行为特点。具体地, 奶牛日均采食次数 10~13 次, 日均采食时间 5.38 h, 而奶牛个体实际采食量与 NRC(National Research Council)模型预测的采食量有-4.76%~7.83%的偏差, 可能是由各种内外部因素及 NRC 模型的普适度造成的, 有待进一步研究。总之, 该系统能较好地实现奶牛个体的精细化饲喂, 为研究奶牛的采食行为特点提供了在线、智能化的自动数据采集与分析平台。

关键词: 设计; 控制系统; 自动检测; 奶牛; 精准饲喂; 采食行为; 数据分析

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.020

中图分类号: S83, S24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-07-0157-07

熊本海, 蒋林树, 杨亮, 王坤, 潘晓花. 奶牛饲喂自动机电控制系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 157~163. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.020 <http://www.tcsae.org>

Xiong Benhai, Jiang Linshu, Yang Liang, Wang Kun, Pan Xiaohua. Design and test of electromechanical control system of automatic feeder for dairy cow[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 157~163. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.020 <http://www.tcsae.org>

0 引言

2015 年, 中国奶业在生乳收购价格持续低迷的形势下, 由于散养户加速退出等自行调整, 奶牛总存栏量减至 1 369 万头, 同比下降 8.7%。同时, 由于散养户占比下降, 进一步提升了中国成母牛单产水平, 即由 2005 年的 3 891 kg/头提高到 2015 年的 6 000 kg/头。其中, 中国 10 大牛奶主产省区的成母牛平均年单产为 6 500 kg/头, 宁夏最高, 达 7 100 kg/头, 新疆最低, 仅为 1 200 kg/头^[1]。尽管单产水平提升了, 但是基于奶牛个体体况的精准饲喂技术及管理仍然粗放, 饲草品质不高, 三次挤奶技术尚未完全普及等, 导致成母牛单产水平与美国、日本及加拿大比较还存在巨大差距, 后者依次达到 10 170、9 460 及 8 810 kg/头^[2]。

数字化描述奶牛的采食、饮水、泌乳、奶牛间相互交流等生理及行为, 对于开展奶牛的精细化饲喂与管理至关重要。有研究发现, 成母牛每天采食 9~14 次, 大约 23 min/次, 大约 5~5.5 h/d^[3]。但随着饲喂方式的变革, 旧的“先粗后精”的饲喂方式已逐渐被全混合日粮 (total mixed rations, TMR) 所代替。TMR 饲喂方式因内在养分及物理加工特性方面的改善, 并结合分群饲喂模式的实施, 均在不同程度上促进了奶牛单产水平的提高。但采食行为特点是否仍适应新的饲喂模式及管理理念, 需要开展条件变化后的行为学观察研究, 才能探究新的采食规律。随着以信息采集为切入点的、物联网技术的快速发展^[4], 开发基于信息感知为基础、具有物联网特征的畜禽精细饲喂设备已成为可能。例如, 基于物联网技术的妊娠母猪电子饲喂站、哺乳母猪自动饲喂装置已有报道^[5-6], 但采用的原理是通过下料量的精确控制达到精准饲喂, 与现代奶牛饲喂采取几乎自由采食的方式明显不同。为此, 也有研究报道了奶牛采食量的自动记录装置^[7-8], 通过传感器记录奶牛颞窝鼓动次数作为吞咽次数, 估算奶牛的采食量, 但误差较大, 达 5%左右。高振江等^[9]研制了自走式奶牛精确饲喂控制系统, 解决了奶牛个体的自

收稿日期: 2016-07-18 修订日期: 2017-03-22

基金项目: 国家“十三五”重点研发课题 (2016YFD0700205, 2016YFD0700201)

作者简介: 熊本海, 男, 湖北红安人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为动物营养与信息技术。北京 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 100193。

Email: Xiongbenhai@caas.cn

动识别问题, 计量误差控制在 2% 左右。后者计量误差得到明显改进, 但仅仅识别奶牛个体和记录采食量对深入研究奶牛的采食行为规律仍远远不够。因此, 本研究设计了一种奶牛个体自动饲喂及行为连续记录系统, 集成了电子标识技术、质量感知技术、机电一体自动控制技术、数据传输及计算机软件技术等, 实现了对奶牛个体采食行为的全面监测, 为系统研究奶牛个体的采食行为规律提供了平台。

1 奶牛自动饲喂系统的机电控制系统

1.1 自动饲喂系统的机械设计

如图 1 所示, 整个饲喂控制系统由识别系统、饲喂控制台、称质量系统、饲喂系统(机械装置)、采食行为数据缓存系统、数据贮存管理及分析系统 6 个模块或系统组成。

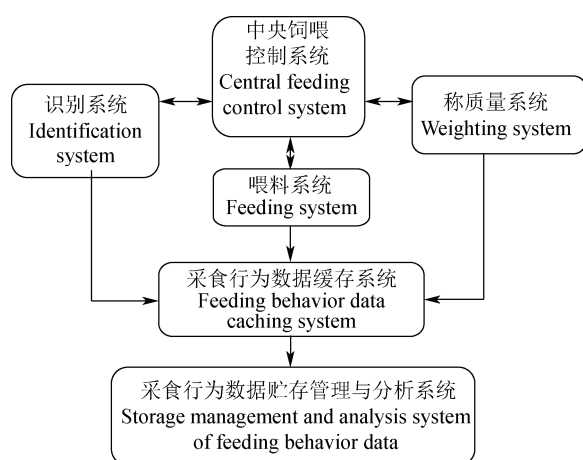
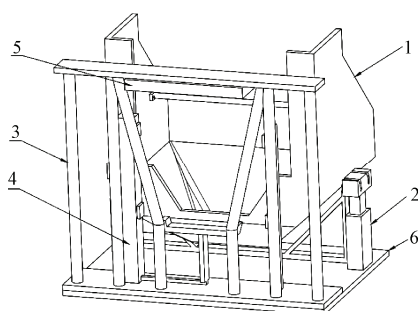


图 1 饲喂控制与数据采集系统结构框图

Fig.1 Structure block diagram of feeding control and data acquisition system

图 2 为奶牛饲喂装置结构简图, 主要由料斗 1、支撑座 2、栏杆 3 和阻挡单元 4、阅读天线 5 及地面 6 组成。其中, 料斗为上部开放的斗状容器, 且在 2 个支撑座上可拆卸, 支撑座上带有称质量传感器, 可用于称量料斗及其盛放的饲料质量; 栏杆设置于料斗的一侧, 栏杆中部设置有用供奶牛头部通过的取食空间; 阻挡单元设置于料斗和栏杆之间, 用于阻挡不符合条件的奶牛进食, 放入符合条件的奶牛进食。



1. 料斗 2. 支撑座 3. 栏杆 4. 阻挡单元 5. 阅读天线 6. 地面
1. Hopper 2. Brackets 3. Rail 4. Partition unit 5. Reading antenna 6. Ground

图 2 奶牛饲喂装置结构简图

Fig.2 Sketch map of cows feeding device

支撑座包括底座、称质量模块和卡位模块, 支撑座上端设置有称质量模块, 称质量模块上端设置有卡位模块。其中, 称质量模块嵌入的传感器为美国 ZEMIC 公司的 L6G 质量传感器。最大称质量 200 kg, 综合误差在 ± 0.002 kg 以内, 可满足奶牛个体饲喂对采食量计量精度的要求^[10]。

栏杆包括主栏杆、副栏杆和上横杆; 主栏杆有 2 根, 相隔在料斗之间, 主栏杆下半段竖直, 上半段分别向左右两侧倾斜, 在上半段之间形成供奶牛头部通过的第一空间, 在下半段之间形成不足奶牛头部通过、能够容纳奶牛颈部的第二空间; 副栏杆自主栏杆下半段起, 相隔主栏杆下半段向左右两侧等间距设置。

阻挡单元包括立柱、上下红外发射与接收模块、连接体和挡板; 立柱有 2 根, 对称设置于主栏杆左右两侧, 任一立柱内设置有升降装置, 通过连接体连接至正对主栏杆设置的挡板, 用于带动挡板上下移动; 上、下红外发射模块相对位于 2 根立柱上侧, 下、下红外接收模块相对位于 2 根立柱下侧; 挡板初始位置处于上、下红外发射模块之间; 当上红外接收模块检测不到红外光线时, 升降装置带动挡板下移, 直至挡板低于下红外发射模块和下红外接收模块; 当上红外接收模块能够接收到光线, 且下红外接收模块由不能接收到光线的状态变化为能够接收到光线的状态时, 升降装置带动挡板上移, 直至挡板回到初始位置。

1.2 自动饲喂系统的机电控制系统设计

如图 1 所示中央控制系统是以微处理器芯片电路为核心布局的。芯片采用 NXP32 位微控制器 (LPC1766FBD100)^[11], 其 CPU 采用功耗最低的 Cortex-M3 芯片, 工作温度 $-40 \sim 105$ °C, 工作电压 2.0~3.6 V, 闪存 256 K, 最高主频能达到 100 M。主要包括的控制电路如下:

1) 牛只个体读卡器结构电路(图 3), 采用多通道 R232 接口模式, 芯片为 MAX232E。图 3 中的上下链接电路是电平转化电路, 接口的信号电平值较高, 易损坏接口电路的芯片, 通过所示电路将接口的电平转化成 TTL 电平^[12]。

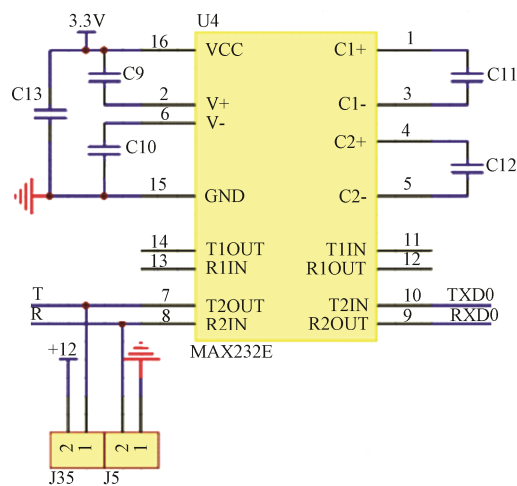


图 3 奶牛电子耳标识别电路

Fig.3 Electronic ear tag identification circuit of dairy cattle

2) 饲料称质量数据采集电路(图4)。采用了RC低通滤波器和24位AD转换芯片,后者为德州ADS1232^[13],片内含有可编程的差分放大器,采集速率有10和80次/s 2种选择,计量静态精度10 g,称量范围0.01~200 kg,具有精度高、范围大的特点。

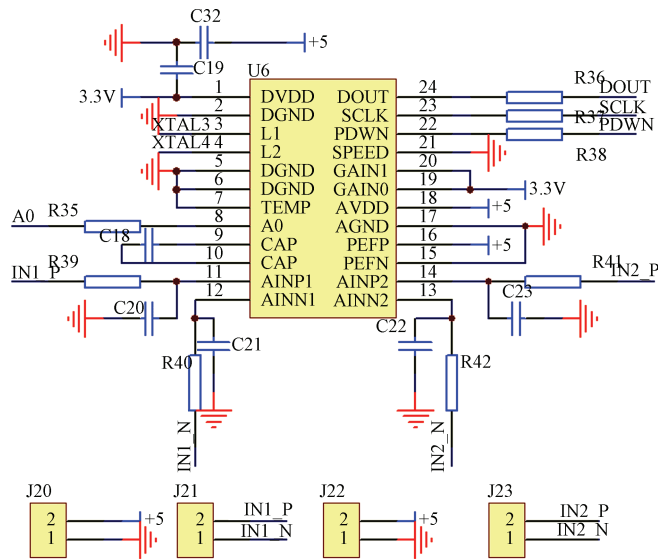


图4 饲料称质量数据采集电路

Fig.4 Feed weighing data acquisition circuit

3) 收发器电路(图5),采用带隔离的通用CAN收发器芯片,型号为CTM8251A且符合ISO 11898标准,最大可允许连接110个节点,速率可达1 MB/s。本电路及其辅助器件承担数据的交互,即将采集的牛只识别数据、采食时间点数据及采食称质量数据等及时传送到图1所示的采食行为数据缓存系统中。

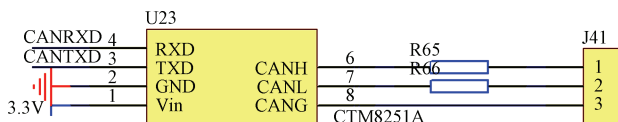


图5 收发器电路

Fig.5 Transceiver circuit

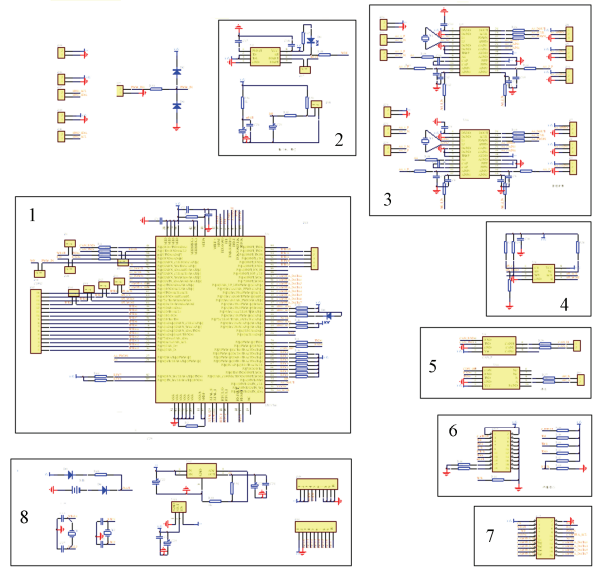
4) 采食行为数据缓存系统电路(图6),该缓存电路接受来自不同奶牛个体饲喂系统采集的数据,实现数据的集中缓存存储,无需与之连接的PC机或服务器开机工作。设计存储最小容量256 KB(可扩展),采用铁电存储器 and 串行外设SPI接口,数据有线传输速率可达15 MB/S 预设可存储14 000条数据记录,且采用先进先出的堆栈方式存储数据。

1.3 自动机电控系统的上位机设计

本系统上位机系统开发包括2个部分,即图1所示“饲喂控制系统”的嵌入式系统开发及“数据管理与分析系统”的软件设计。系统开发框图及功能设计如图7所示。

如图7所示,饲喂控制嵌入式系统即下位机系统是控制精准饲喂的,采用C语言开发,实现的控制模块嵌入到控制主板的内存中,与其关联的是上位机系统即数据管理及分析系统。后者采用C#语言开发^[14],并以Access

为数据库系统。上位机及下位机系统可独立运行,从与之链接的现场采食数据存贮系统中导入或提取数据,可开展如图7所示的各种分析处理与可视化显示,甚至可将采食行为数据导出或升迁到远程的“奶牛场综合信息管理平台”中。



注: 1.微处理器芯片; 2.看门狗复位电路; 3.称质量电路; 4.数据寄存电路; 5.数据通信电路; 6.JTAG仿真接口; 7.显示屏接口(预留); 8.稳压电源及晶体振荡器等。

Note: 1.Microprocess ICs; 2.Watchdog reset circuit; 3.Weighing circuit; 4.Data register circuit; 5.Data communication circuit; 6.JTAG simulation interface; 7.Display interface; 8.Stabilized voltage supply and crystal oscillator, etc.

图6 采食行为数据缓存系统电路

Fig.6 Feeding behavior data caching system circuit

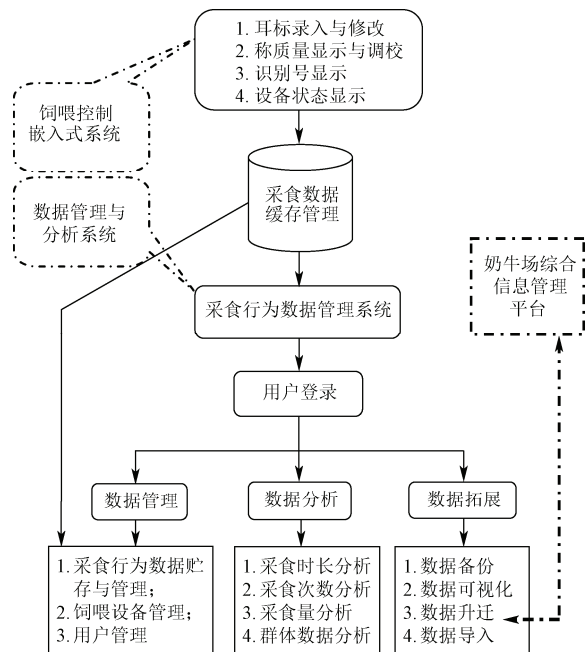


图7 饲喂与数据采集处理上位机软件开发功能设计

Fig.7 PC software function design of feeding and data acquisition and processing

系统是以奶牛个体电子标识编码为基础,而编码大致分为2种情形:第1种是按国家农业部2007年颁布的

67 号令^[15]执行,即 15 位数字编码,第 1 位代表畜种,牛为“2”,第 2 至第 7 位共 6 位为养殖场所属县市区行政区划代码,最后 8 位为顺序号;第 2 种方案采用国际动物编码协会(international committee for animal recording, ICAR)认证机构生产的电子标签^[15],通常为无线射频识别(RFID)标签,编码也为 15 位,不同的是前 6 位为 ICAR 赋予生产标签企业的编码,后 9 位为企业自定义的顺序号,由此构成的 15 位是唯一投放市场的。通常将编码事先写入芯片,而标签的外壳上也会印上醒目的编码,同时满足自动识别与肉眼识别。在本系统中,采用农业部 67 号令的编码规则进行奶牛个体编码的设计。

其次,主要数据项目包括每次采食起始时间及离开时间、起始料槽质量(含饲料)及离开时料槽质量(含饲料)等。基于上述 5 项指标,可直接派生的数据包括奶牛每天的采食次数、采食量、单次采食时长及总采食时长等,可实现对采食行为的定量分析,并发现不同胎次、不同泌乳潜力的奶牛采食规律特性。

1.4 奶牛精准饲喂的干物质采食量预测模型

本饲喂装置主要用于饲喂 TMR 日粮。因此在制作 TMR 及预投 TMR 时,需要预测奶牛个体的干物质采食量(dry matter intake, DMI)。本研究拟采用 NRC(2001)^[16]推荐的奶牛 DMI 预测模型:

$$DMI = (0.372 \times 4\%FCM + 0.0968 \times BW^{0.75}) \times (1 - e^{(-0.192(WOL+3.62))}) \quad (1)$$

式中 4%FCM 为 4%乳脂率矫正奶量, kg/d; 4%FCM=(0.4×日产奶量)+(15×乳脂率), kg; BW 为体质量, kg; WOL 为泌乳周数。

此外,泌乳奶牛饲喂所用 TMR 最佳干物质质量分数为 50%~75%^[17],偏湿或偏干的日粮均会影响采食量。

因此,在初步估测或在线感知奶牛个体体质量、预期产奶量及泌乳周数后,可按公式(1)估算出 DMI,然后依据测定的或估测 TMR 的水分含量,粗略得到理论上应饲喂的 TMR 的原样量,作为个体奶牛每天制作及投喂 TMR 的参考量。

2 饲喂试验及结果分析

2.1 称质量性能测定与数据分析

按图 2 及图 6 的机电设计的外形及原理在河南南商农牧科技有限公司的智能设备研制车间研制第 1 批设备 6 套,并安装在北京昌平诚远盛隆奶牛养殖场的试验牛圈,进行了静态的称质量试验。在对每个饲喂设备进行校正及回零处理即消去系统误差后,考虑泌乳牛最可能的采食量范围在 10~70 kg 之间,采用 4 个标准称质量水平,即 15、30、45、60 kg,6 个重复即同一质量的 TMR 饲料分别在 6 台设备上计量 1 次。

表 1 数据统计表明,各质量组实际称量质量与标准质量均无显著差异($P>0.05$),而称质量的相对误差在 0.15%内,完全满足奶牛饲喂计量精度要求。研究证明,该自动饲喂系统能准确称量 10~70 kg 的质量,且称质量精度符合奶牛精准饲喂要求(一般认为不超过 1%即可)。

表 1 奶牛饲喂自动机电控制系统的称质量性能试验
Table 1 Weighing performance test of automatic mechanical and electrical control system for dairy cows

指标 Index	处理组 Treatment group			
	15 kg	30 kg	45 kg	60 kg
平均称质量 Average weighting/kg	14.98±0.05	29.98±0.06	44.97±0.06	59.98±0.07
相对误差 Relative error/%	0.13	0.07	0.07	0.03
P 值 P values	0.269	0.431	0.293	0.571

注(Note): $n=6$ 。

2.2 奶牛个体采食试验

2.2.1 饲喂试验设计

从北京昌平诚远盛隆奶牛养殖场 81 头泌乳奶牛中,随机挑选 6 头体质量、胎次及泌乳日龄相近的健康荷斯坦奶牛。饲养在同一个试验圈栏内,共配备按 2.1 所述的饲喂系统 6 套,试验期为 100 d,且每天保证饲喂料斗内盛有的 TMR 饲料量为公式(1)估算的 110%,通过开发的数据存贮系统记录 6 头奶牛的采食次数、采食量及采食时间。

2.2.2 采食试验结果与讨论

观察不同头牛的日平均采食次数、均次采食量及采食时间,并对上述 3 项指标均进行统计处理(表 2)。其中,每日的 DMI 是基于原样水分为 57.6%折算的。此外,由于在每台饲喂器的顶端采用了功率为 12 W 的阅读器,耳标感应半径为 15 cm,经反复测试,识读率为 100%。

表 2 个体饲喂装置饲喂性能数据

Table 2 Performance data of individual feeding device				
奶牛个体 Individual dairy cows	总采食次数 Total feed intake times	日均采食 次数 Average daily feeding times	均次采食量 Single average feed intake/kg	日均采食时间 Average daily feeding time/h
1	1 141	11.4±1.5	1.71±0.05	5.2±0.31
2	1 205	12.1±2.3	1.67±0.05	5.6±0.36
3	1 190	11.9±1.8	1.73±0.04	5.4±0.34
4	1 267	12.7±2.1	1.65±0.05	5.7±0.39
5	1 026	10.3±2.0	1.75±0.03	5.1±0.32
6	1 117	11.2±1.8	1.65±0.04	5.3±0.33

表 2 统计分析表明,不同个体奶牛采用自动饲喂表现的采食特性如下:日均采食次数为 10~13;个体奶牛 DMI 为 18~20.5 kg;奶牛个体的日均采食时间为 5.1~5.7 h。尽管所选奶牛的胎次、体质量及泌乳日龄相近,可能与泌乳潜力及体况有关,需要结合产奶量及品质数据综合分析。

以上数据分析表明,奶牛个体之间的采食特性参数均在一定的阈值范围内变化,但个体之间存在差异性。就采食次数而言,本性能试验得到的次数为 10~13 次,与 Bach 等^[18]报道的 9~14 次基本吻合,且均为在饲喂 TMR 条件下观察的数据,说明了该设备基本不影响奶牛的自由采食行为。而赵宗胜等^[19]的研究报道发现,奶牛日自由采食粗饲料的次数为 4.0±2.0,差异的原因主要是传统的“先粗后精”与现代的 TMR 饲喂模式不同造成的。

王建平等^[20]、Trevor 等^[21]提出“少吃多餐”可以促进采食量,更利于瘤胃的均匀发酵。

在采食量上,个体奶牛每日总实际采食量(表2中的均次采食量乘以采食次数)与理论采食量(由式(1)估算的)的实际误差在-4.76%~7.83%之间(因理论数据也是参考值,表2中未列出),即低于或高于模型预测的采食量。差异的存在可能与牛只实际体质量、饲料粒度、预测的产奶量的准确性有关^[22-29],也与NRC(2001)的采食量模型与中国荷斯坦奶牛的适应性有关。杨琴等^[30-31]通过采食量的实际数据验证,NRC模型预测中国荷斯坦奶牛采食量存在局限性。

采食行为的重要指标是采食的时间长度。一般认为,奶牛的采食时间受控制于各种内外部因素,包括泌乳潜力、生理阶段、日粮的养分及物理特性(纤维的长短及适口性)等,也与日粮的饲喂模式有关。有研究报道,采食时长为3~6 h^[32],高产成母牛为3~5 h^[33]。本试验得到的平均日采食时间为5.38 h,略高于先前的报道结果,可能与本试验奶牛寻找固定采食的饲喂装置有关,也受控于饲料的长度及适口性,需要进一步增加奶牛头数和观察时间以获得更一般性的结论。

3 结 论

1) 设计了一种奶牛饲喂自动机电控制系统,对奶牛个体的识别率为100%,采用质量传感器静态计量,系统的计量相对误差在0.15%以内,符合精准饲喂及采食行为学研究对设备的要求。

2) 个体饲喂试验表明,奶牛的采食次数、采食量及采食节律等采食行为均符合奶牛的行为特点,设备较好地满足了奶牛个体的精细饲喂需求,为研究奶牛的采食行为规律提供了在线的自动数据采集系统。

增加设备数量、试验奶牛头数及试验天数,在获得大量采食行为数据的基础上开展大样本量的大数据分析,将可获得奶牛采食行为更一般性的规律,甚至可以精细到不同泌乳阶段的采食行为特点。

【参 考 文 献】

- [1] 艾格农业. 2015 中国奶业,血雨腥风的“春秋”时代[EB/OL]. (2016-03-17) [2017-04-05] http://blog.sina.com.cn/s/blog_6743e2e10102wewz.html.
- [2] Feed Marketing & Distribution[J]. Feedstuffs, 2015: 9.
- [3] 陆东林, 马连山. 奶牛行为学及其在生产中的应用[J]. 中国乳业, 2009(7): 52—56.
Lu Donglin, Ma Lianshan. Dairy cow behavior and its application in production[J]. China Dairy Industry, 2009(7): 52—56. (in Chinese with English abstract)
- [4] 熊本海, 杨振刚, 杨亮, 等. 中国畜牧业物联网技术应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 1): 237—246.
Xiong Benhai, Yang Zhengang, Yang Liang, et al. Review on application of Internet of Things technology in animal husbandry in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(Supp.1): 237—246. (in Chinese with English abstract)
- [5] 杨亮, 熊本海, 曹沛, 等. 妊娠母猪自动饲喂机电控制系统的优化设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 66—71.
Yang Liang, Xiong Benhai, Cao Pei, et al. Design and experiment of electromechanical control system of automatic feeder for gestation sow[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(21): 66—71. (in Chinese with English abstract)
- [6] 熊本海, 杨亮, 曹沛, 等. 哺乳母猪自动饲喂机电控制系统的优化设计及试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 28—33.
Xiong Benhai, Yang Liang, Cao Pei, et al. Optimal design and test of electromechanical control system of automatic feeder for nursing sow [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(20): 28—33. (in Chinese with English abstract)
- [7] 田富洋. 奶牛采食量自动检测仪的研制[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
Tian Fuyang. Design and Research of Testing Instrument for Cow's Feed Intake[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘文博, 王涛, 刘勇. 基于 ZigBee 的奶牛采食量自动记录仪[J]. 自动化与仪器仪表, 2014(10): 72—74.
Liu Wenbo, Wang Tao, Liu Yong. An automatic recorder for dairy cattle feed intake based on ZigBee[J]. Automation & Instrumentation, 2014(10): 72—74. (in Chinese with English abstract)
- [9] 高振江, 郭跃虎, 蒙贺伟, 等. 自走式奶牛精确饲喂机控制系统[J]. 农业机械学报, 2012, 40(11): 226—230.
Gao Zhenjiang, Guo Yuehu, Meng Hewei, et al. Design of self-propelled precise feeding machine control system for single dairy cow[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2012, 40(11): 226—230. (in Chinese with English abstract)
- [10] 蔡工. ZEMIC 称重传感器[EB/OL]. (2015-01-30)[2017-03-30] <http://wenku.baidu.com/view/62c0336ea45177232f60a2f7.html?from=search>.
- [11] 蒋炜, 马维华. LPC1766 与 SI4432 的无线数据传输系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013(1): 31—33.
Jiang Wei, Ma Weihua. Wireless data transmission system based on LPC1766 and Si4432[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2013(1): 31—33. (in Chinese with English abstract)
- [12] Sipex. True +3.0V to +5.5V RS-232 Transceivers[M]. Sipex Corporation, 2005: 1—20.

- [13] 姜伶斌, 刘思颂, 党正强. 基于 ADS1232 的高精度测试技术[J]. 中国测试技术, 2008, 34(3): 138—140.
Jiang Lingbin, Liu Sisong, Dang Zhengqiang. High-precision testing technology based on ADS1232[J]. China Measurement & Testing Technology, 2008, 34(3): 138—140. (in Chinese with English abstract)
- [14] 北京阿博泰克北大青鸟信息技术有限公司编著. NET 平台和 C#编程[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2006.
- [15] 中国农业部. 中华人民共和国农业部第 67 号令[EB/OL]. (2006-06-29)[2014-10-22]. http://www.gov.cn/flfg/2006-06/29/content_322763.htm.
- [16] National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Dairy Cows[M]. 7th ed. Washington, DC: National Academic Science, 2001.
- [17] 陈前岭, 陈连民, 张军, 等. 全混合日粮 (TMR) 饲喂技术在奶牛养殖生产中应用的研究进展[J]. 饲料工业, 2014, 35(24): 54—57.
Chen Qianling, Chen Lianmin, Zhang Jun, et al. Progression on the application of TMR technique in the practice of dairy production[J]. Feed Industry, 2014, 35(24): 54—57. (in Chinese with English abstract)
- [18] Bach A, Valls N, Solans A, et al. Associations between nondietary factors and dairy herd performance[J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91: 3259—3267.
- [19] 赵宗胜, 贺庆国, 曹志辉, 等. 荷斯坦泌乳牛的行为观察[J]. 中国奶牛, 2001(2): 36—39.
Zhao Zongsheng, He Qingguo, Cao Zhihui, et al. Observation on behavior of holstein[J]. Chinese Dairy Cattle, 2001(2): 36—39. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王建平, 张嘉保, 王清义, 等. 奶牛的随意采食与调控研究现状[C]//全国养牛科学研讨会文集, 2005: 190—196.
Wang Jianping, Zhang Jiabao, Wang Qingyi, et al. Current situation of cow's random feeding and regulation[C]//National Cattle Science Symposium, 2005: 190—196. (in Chinese with English abstract)
- [21] Trevor D, 曹志军, 黄鸿威, 等. 如何实现饲料采食量最大化[J]. 中国奶牛, 2015(15): 51—53.
Trevor D, Cao Zhijun, Huang Hongwei, et al. How to maximize feed intake[J]. Chinese Dairy Cattle, 2015(15): 51—53. (in Chinese with English abstract)
- [22] Yansari A T, Valizadeh R, Naserian A, et al. Effects of Alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility and performance of Holstein dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(11): 3912—3924.
- [23] Einarson M S, Plaizier J C, Wittenberg R G K M. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed a total mixed ration [J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(9): 2987—2996.
- [24] Kononoff P J, Heinrichs A J. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(7): 2438—2451.
- [25] Alamouti A A, Alikhani A M, Ghorbani G R, et al. Effects of inclusion of neutral detergent soluble fibre sources in diets varying in forage particle size on feed intake, digestive processes, and performance of mid-lactation Holstein cows[J]. Animal Feed Science and Technology, 2009, 154(1/2): 9—23.
- [26] Beauchemin K A, Yang W Z, Rode L M. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(2): 630—643.
- [27] Yang W Z, Beauchemin K A. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage[J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(1): 217—228.
- [28] Yang W Z, Beauchemin K A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(3): 1090—1098.
- [29] Beauchemin K A, Yang W Z. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(6): 2117—2129.
- [30] 杨琴, 熊本海, 韩英东, 等. 奶牛采食调控理论与干物质采食量模型研究现状和分析[J]. 动物营养学报, 2014, 26(1): 34—42.
Yang Qin, Xiong Benhai, Han Yingdong, et al. Research situation and analysis on feed intake theory and dry matter intake models for dairy cows[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(1): 34—42. (in Chinese with English abstract)
- [31] 杨琴. 北京奶牛常用饲料养分分析及干物质采食量模型验证[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
Yang Qin. Analysis of Nutrient Composition of Dairy Common Feedstuff in Beijing and Verification of Dry Matter Intake Model[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [32] 张华琦, 杨正德. 不同泌乳时期荷斯坦奶牛的行为观察[J]. 中国奶牛, 2008(3): 19—21.
Zhang Huaqi, Yang Zhengde. Observation on behavior of Holstein dairy cows during different lactation period[J]. Chinese Dairy Cattle, 2008(3): 19—21. (in Chinese with English abstract)
- [33] Lene M, 黄鸿威, 宋扬, 等. 奶牛的行为与时间分配[J]. 中国奶牛, 2015(8): 61—63.
Lene M, Huang Hongwei, Song Yang, et al. Behavior and time allocation of dairy cattle[J]. Chinese Dairy Cattle, 2015(8): 61—63. (in Chinese with English abstract)

Design and test of electromechanical control system of automatic feeder for dairy cow

Xiong Benhai¹, Jiang Linshu², Yang Liang¹, Wang Kun¹, Pan Xiaohua¹

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Beijing Key Laboratory of Dairy Cow Nutrition, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: In order to perform the studies on the precision feeding and behavioral monitoring of dairy cows, an automatic feeder of dairy cows was designed, which accomplished the functions of cows automatic identification, automatic feeding data (feed intake time and amount) acquisition and data analysis simultaneously. The automatic feeder was composed of mechanical device system, electric identification system, weighing system, central control system, live data collection and storage system, and remote feeding data extraction and analysis system. The mechanical device system was constituted of feeding bin, brackets, railing and blocking apron. The electric identification system included reading antenna and pneumatic switch for discharging. The weighting system was made up of brackets and embedded weight sensor (L6G, technical parameters: Weighing range ≤ 200 kg, error less than 0.002 kg). Central control system was composed of microprocessor (LPC1766, technical parameters: Operating temperature of from -40 to 105 °C; operating voltage of 2.0-3.6 V; flash memory of 256 K, low power consumption), watchdog reset circuit, card reader circuit, weighing data collection circuit, data communication circuit, data transceiver circuit, and external regulator circuit. The reader circuit adopted multi-channel R232 interface and chips (Model: MAX232E), and low-pass filter and 24 bit conversion chip (Model: ADS1232, Dezhou) were used in the weighing data collection circuit. For transceiver circuit, according to the standard ISO 11898, the universal CAN (controller area network) transceiver chip (Model: CTM8251A) with isolation function was adopted, which had 110 nodes at the most and the transmission rate increased to 1 M/s. The ferroelectric memory and serial peripheral interface were adopted in the circuit of data caching system, and the cable data transmission rate could reach 15 MB/s. The live data collection and storage system received signals from the central control system in each feeder, the preset record number in storage system could reach 14 000, and the form of stack data was applied in system. The feeding data could be managed and analyzed in real time by data process system in PC (personal computer) terminal. The feeding experiment showed that the cognition rate for low frequency RFID (radio frequency identification) (134 kHz) ear tag by the automatic feeder reached 100%, the range of weighing was 0.01-200 kg, the precise was 10 g, and the weighting error was below 0.15%, which could meet the requirement of cows' precise feeding intake record. The performance test of control system showed that individual cow's feeding behaviors, including feeding frequency, intake time, and feed intake, were different significantly ($P < 0.05$). The average feeding frequency was 10-13 times per day, and the average intake time was 5.38 h per day, which were consistent with cow feeding characteristics. However, the deviation between average daily feed intake and predicted intake value by NRC (National Research Council) model was -4.76% - 7.83% , which may be caused by the low applicability of NRC model. In conclusion, the automatic feeder developed in our study can meet the requirement of precise feeding in cows' production, and supply an online and intelligent data automatic record and analysis platform for cow feeding behavior research.

Keywords: design; control systems; automatic testing; dairy cow; precise feeding; feeding behavior; data analysis