



畜禽养殖智能化与中国式现代化

李保明 教授，博士生导师

农业农村部设施农业工程重点实验室学科群
北京市畜禽健康养殖环境工程技术研究中心

主任

Email: libm@cau.edu.cn

2022-11-25

■ 党的“二十大”报告

◆ 全方位夯实粮食安全根基

◆ 树立大食物观，发展设施农业，
构建多元化食物供给体系

□ 我国食物保供发展的农垦答案？



■ 美好生活向往与畜牧业发展的新形势

◆ 环保安全与畜牧业**绿色**发展

◆ 生物安全与畜牧业**健康**发展

◆ 食品安全与畜牧业**高质量**发展

□ 畜牧业现代化与智能化发展新阶段



■ 我国超大规模养殖场发展迅速



中國農業大學
China Agricultural University

- 大型畜禽养殖工厂建设
- 养殖场向深山老林发展



■ 我国超大规模养殖场发展迅速



中國農業大學
China Agricultural University

◆ 鄂州大型楼房猪舍(26层)

- 单栋年出栏60万头育肥猪，2栋120万头猪，可满足240万人

◆ 广州南沙楼房猪舍(17层)

- 年出栏30万头育肥猪，直供市区预制菜，应急可供200万人



■ 我国超大规模养殖场发展迅速



中國農業大學
China Agricultural University

◆ 大型连栋肉鸡舍

- 8层立体平养，单体年出栏500万只鸡，5栋2500万只/年，可供50万户



■ 蛋鸡舍单栋超过15万只



德青源
DEQINGYUAN
傲然美味

寻乌金鸡产业工程

寻乌金鸡产业工程建设占地面积1343亩，分两期建设，一期采取EPC模式，由寻乌县扶投公司和德青源公司共同投资6.06亿元，包含60万羽规模青年鸡区、180万羽规模产蛋鸡区、鸡蛋分选中心、有机肥厂和污水处理站；二期由德青源公司独立投资建设，包含60万羽规模产蛋鸡区、饲料厂和食品加工厂。

目前青年鸡区已竣工，首批鸡苗已于11月8日进驻投产。项目满产后，可年产鸡蛋7亿枚，产值3亿元，年产优质有机肥3.5万吨，产值0.4亿元，蛋品加工6750吨，产值0.6亿元。预计每年可为地方财政提供2700万元的厂房租金，贡献2000万元税收，并带动400余户贫困群众实现稳定收入。可实现四个带动，即带动精准扶贫、带动产业升级、带动绿色发展、带动高质量发展。实现“建一个项目、兴一个产业、带一方经济、富一方百姓”的目标。



■ 江西寻乌单栋20万只鸡舍，
全场180万只，可供200万人



■ 我国超大规模养殖场发展迅速



■ 万头规模全舍饲奶牛场

➤ 年产奶量5万吨以上，可供200万人



■ 优质畜产品保供发展新趋势



◆ 认清：畜禽养殖规模化转型大趋势

- 标准化、规模化、超大规模化
- 生态化、福利化、养殖无抗化

→ 由城郊型畜牧业
转向绿色高质量

◆ 突破：规模养殖“孤岛化”和“无人化”难题

- 设施化、机械化、养殖工业化
- 数字化、信息化、管理智能化

→ 令人向往的行业
→ 受人尊敬的职业

□ **基本保供**：依靠大规模工业化生产（占总量的70%）

应急保供：依靠农垦等国有企业（约需总量的30%）



内容提要

一、畜禽智能化养殖的理念

二、畜禽智能化养殖技术进展

三、畜禽智能养殖关键制约因素

四、中国式畜牧业现代化与智能化



1 畜禽智能化养殖的理念

■ 智慧牧场与智能养殖的概念

- 英文：Precision Livestock Farming (PLF)
- 智慧牧场 (Smart Livestock Farming)
- 与机械化、自动化的区别？如何才能智能化？
- 用现代信息技术提升畜牧场管理水平，畜牧业现代化
- 由“靠人养畜”转向“人管设备，设备养畜”；设备的智能化
- 要在“人-设备-动物”建立相互关联，关键是数字化、信息化！



1 畜禽智能化养殖的理念

■ 畜禽养殖信息化智能化的主要目的

➤ 服务于畜禽养殖业的高效、健康、安全生产

- 提高劳动生产率、资源利用率、土地产出率
- 实现生产管理过程“少人化”、“无人化”
- 提高健康安全水平：实现环境健康、畜禽健康、产品健康、人类健康——**One Health**

1 畜禽智能化养殖的理念

◆ 畜禽养殖数字化是智能化的**基础**

◆ **突破1.0-面向3.0**

◆ **精准化管控**

1.0 数字化
信息资源
整合发布

2.0 网络化
信息资源
整合发布

3.0 智慧化
数据挖掘
智慧管理

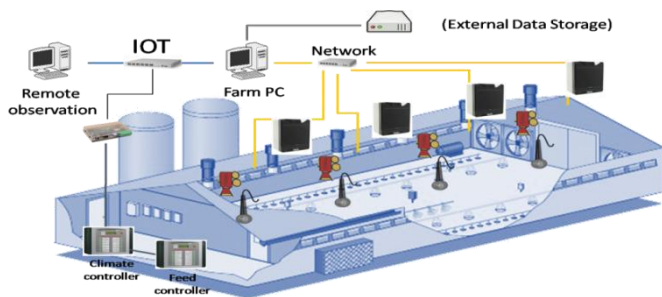
4.0 智能化
人工智能

信息化

畜禽设施设备
信息资源采集



基于生物学特性的健康工艺



基于健康需求的智慧管控



基于营养需要的个体
/群体精准饲喂

2 我国畜禽智能化养殖技术进展



- “十三五”以来，我国针对智能化养殖的行业需求，启动了多项智能化养殖相关的国家重点研发计划项目：
 - “畜禽养殖智能装备与信息化技术研发”
 - “信息感知与动物精细养殖管控机理研究”
 - “设施畜禽养殖智能化精细生产管理技术装备研发”

2.1 畜禽智能养殖装备研发进展

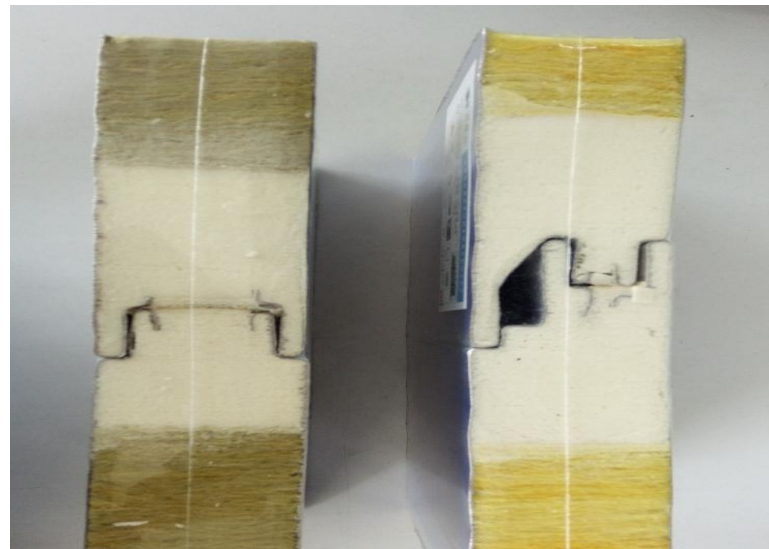


重点内容	数字化关键技术
畜禽舍建筑热环境	畜禽舍环境 调控均匀性 ：测点布置（位置、数量）
畜禽舍环境监测与调控装备	传感技术：畜禽舍多尘高湿环境条件下 有害气体浓度监测传感器 ，温湿度、光照等畜禽舍 环境控制系统 的准确性
畜禽饲喂、饮水、投药装备	家畜个体及 小群体饲喂 的计量技术，不同畜禽饮水生理差异性监测；畜禽自动精量 投药测定 与控制技术
畜禽舍自动清粪装备	清粪次数与数量 、 自动可靠测定 技术
畜禽高效安全养殖过程	畜禽生理参数、行为的音视频数据、生产数据的 准确与实时 远程获取 及传输等

■ 畜禽舍建筑设施的重要性——密闭性

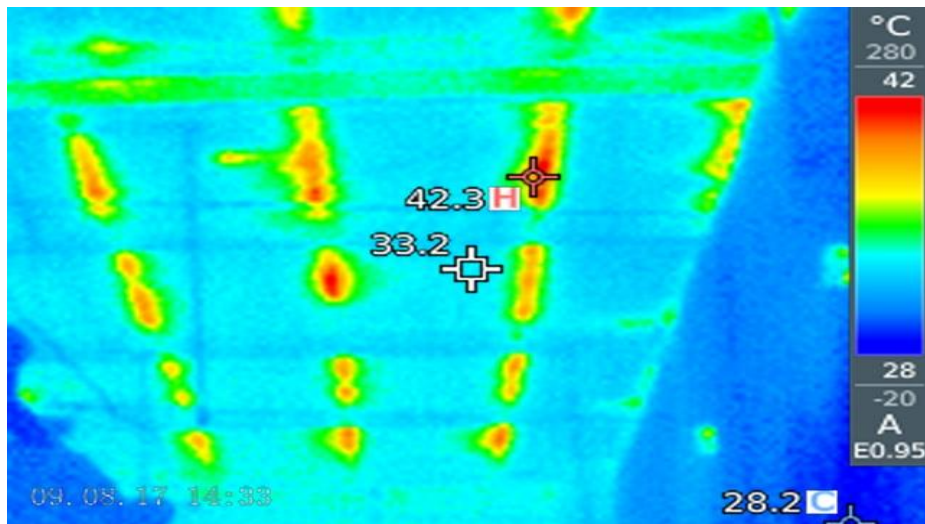
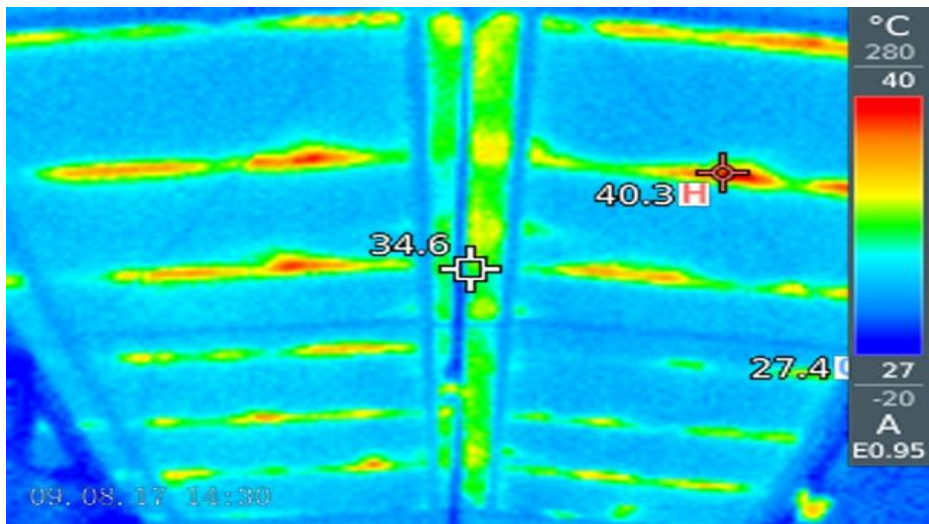


□ 聚苯彩钢板间的缝隙问题



□ 板间连接缝的做法

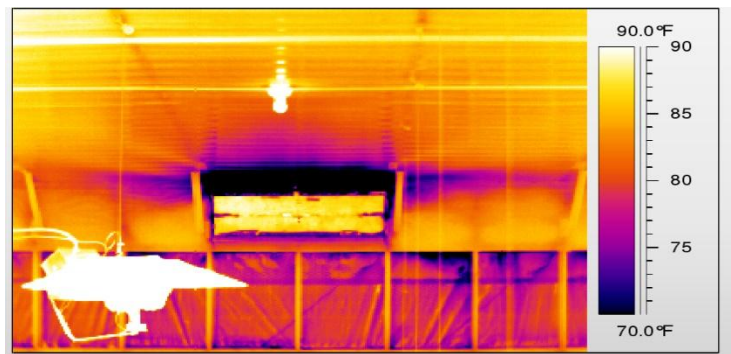
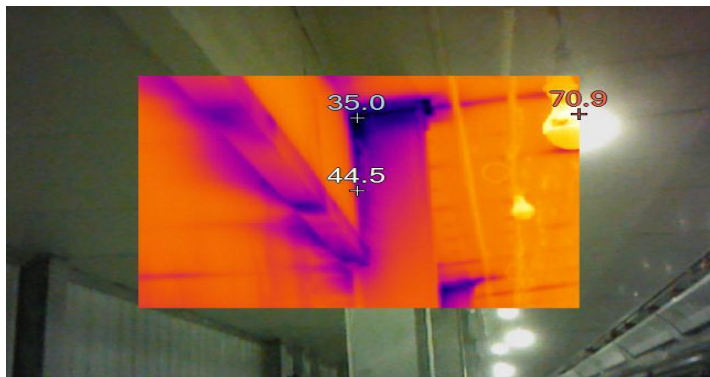
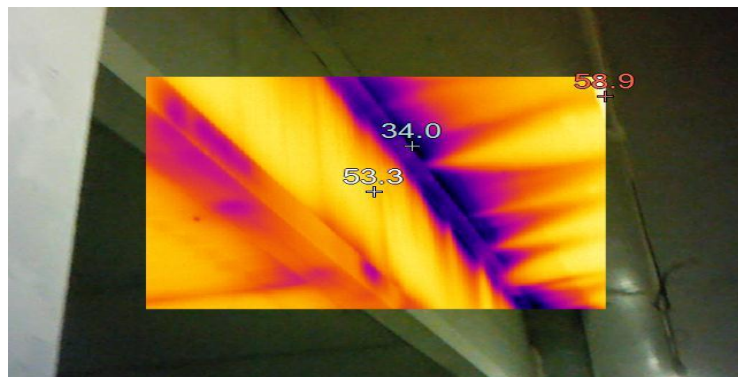
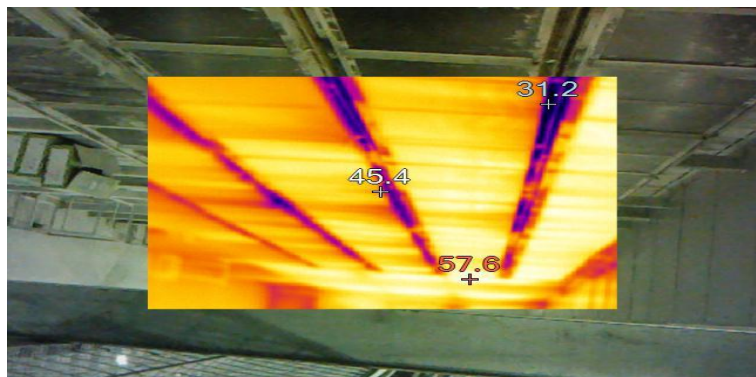
■ 鸡舍夏季负压通风的热风渗透问题



□ 热风渗透严重影响鸡舍的降温效果和温度分布！



■ 冬季鸡舍的冷风渗透问题



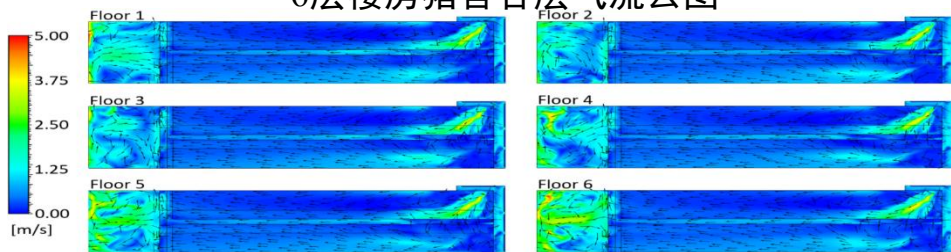
2.2 畜舍建筑热环境技术进展



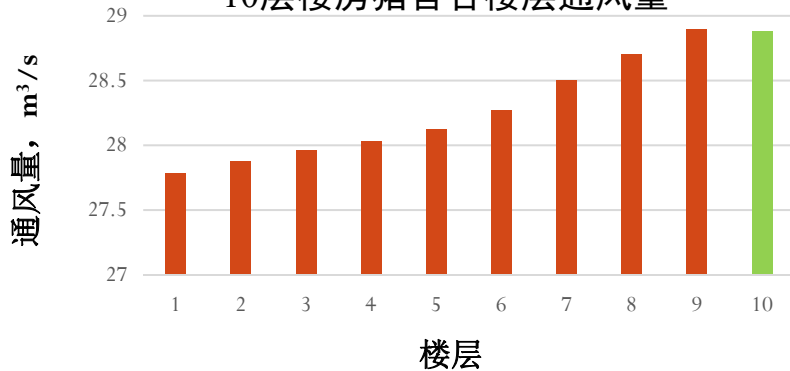
- **楼房养猪相关研究工作：**基于CFD) 探讨了不同楼层间通风量的差异及楼层数 (6-10层) 对通风量的影响规律



6层楼房猪舍各层气流云图



10层楼房猪舍各楼层通风量

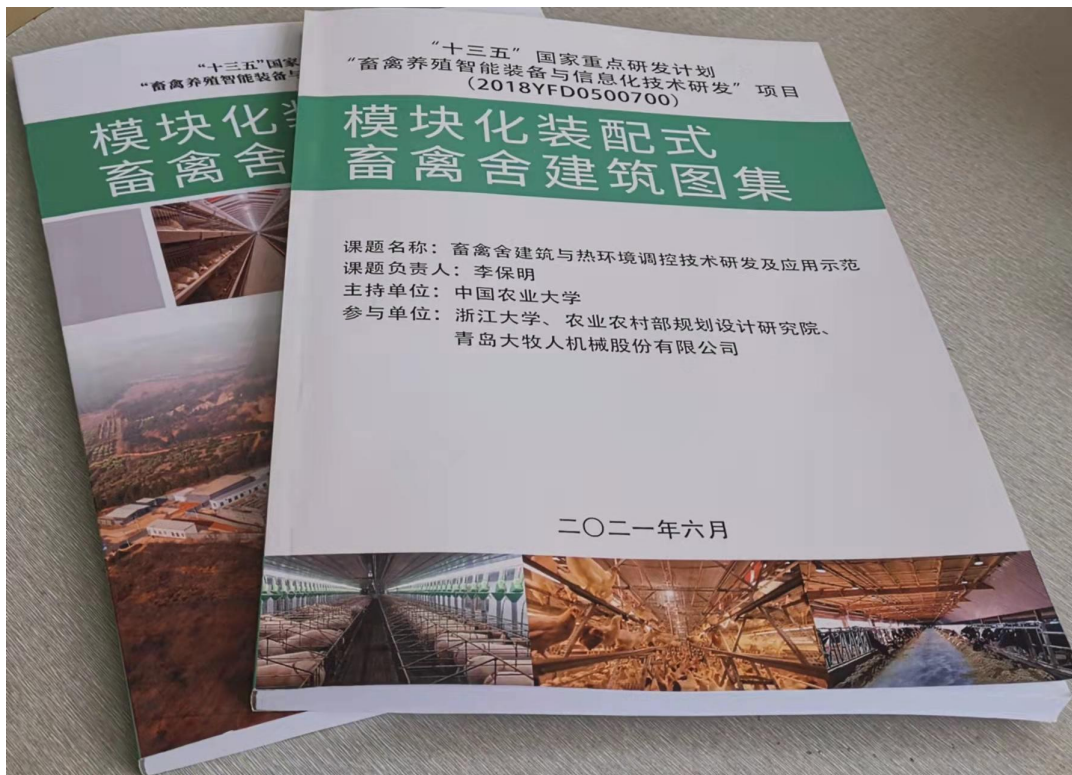


2.2 畜舍建筑热环境技术进展



中國農業大學
China Agricultural University

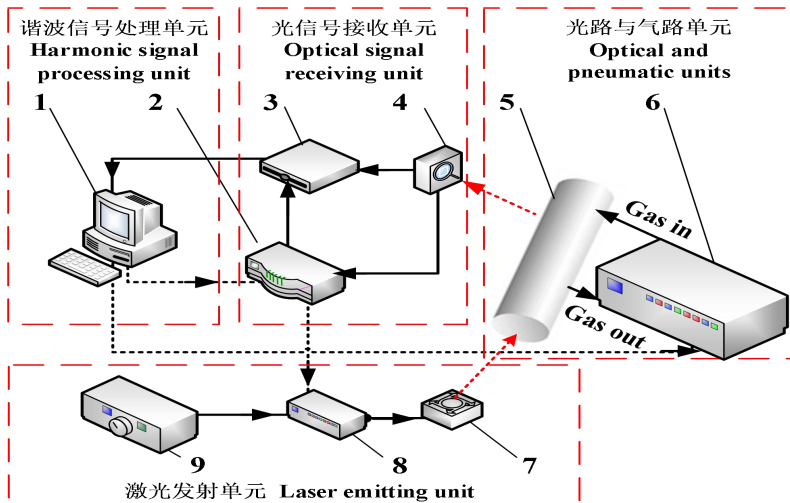
- 形成了《模块化装配式畜禽舍建筑图集》



2.3 畜舍环境监测与调控技术进展



- **环境监测与自动调控系统：**解决了现有电化学 NH_3 传感器、 H_2S 传感器和热线式风速传感器检测精度低、稳定性和可靠性差等问题。
- ◆ **基于可调谐吸收光谱（TDLAS）技术研 NH_3 浓度监测仪**



NH_3 浓度检测仪



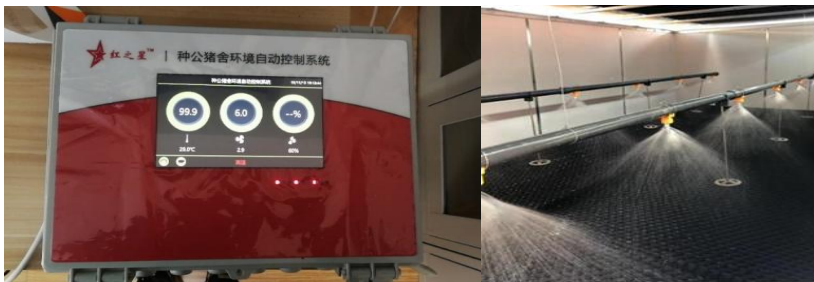
H_2S 浓度检测仪

设计检测范围：0-100 ppm，检测灵敏度：
0.1ppm，检测精度：±2% F.S

2.3 畜舍环境监测与调控技术进展



- **环境监测与自动调控系统：**实现温、湿、风、光、气等环境因子精确可靠监测，以及基于多元参数的环境精准调控技术装备。

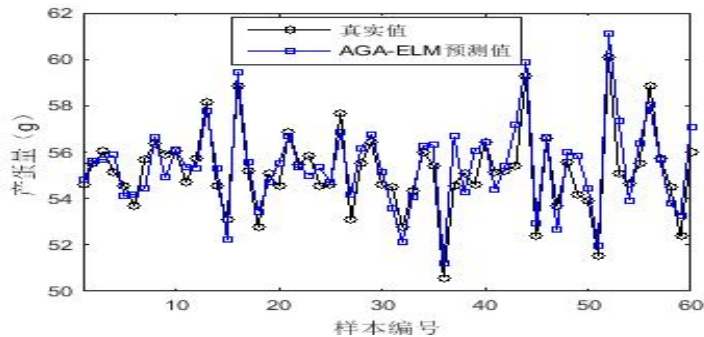


猪舍环境控制系统和除臭系统



基于网络传输的多元环境参数实时监测

- ◆ 构建了基于AGA-ELM的鸡舍环境因子对蛋鸡生产影响预测模型



2.4 畜禽养殖饲喂装备技术进展



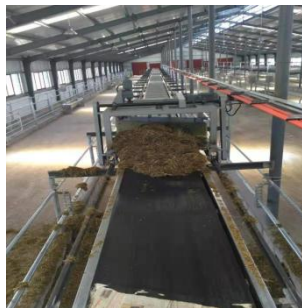
- **喂料、饮水系统：**突破先进智能饲喂装备被荷兰、以色列等发达国家垄断的局面。



仔猪补奶机



奶牛自动称重分群系统



奶牛传送带输料系统



奶山羊精确饲喂系统



TMR精准饲喂管理系统

2.5 畜禽养殖清粪装备技术进展



- **自动化清粪装备：**有效解决清粪系统的清粪不彻底与效率低、稳定性差、检修难以及粪污转运不及时易造成交叉污染等技术难题。



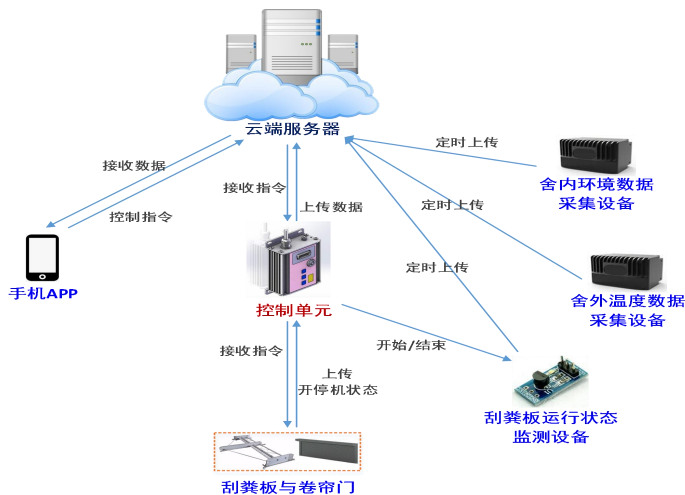
牛场大V型刮板系统



挤奶厅循环水冲洗系统



鸭舍清粪系统

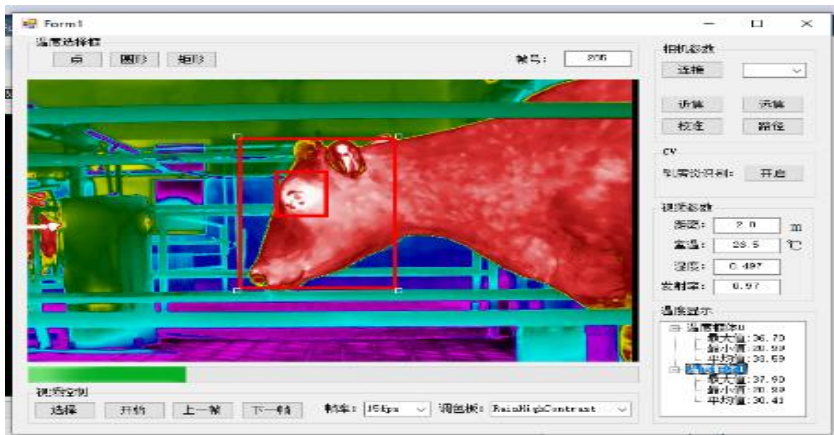


猪场自动清粪控制系统

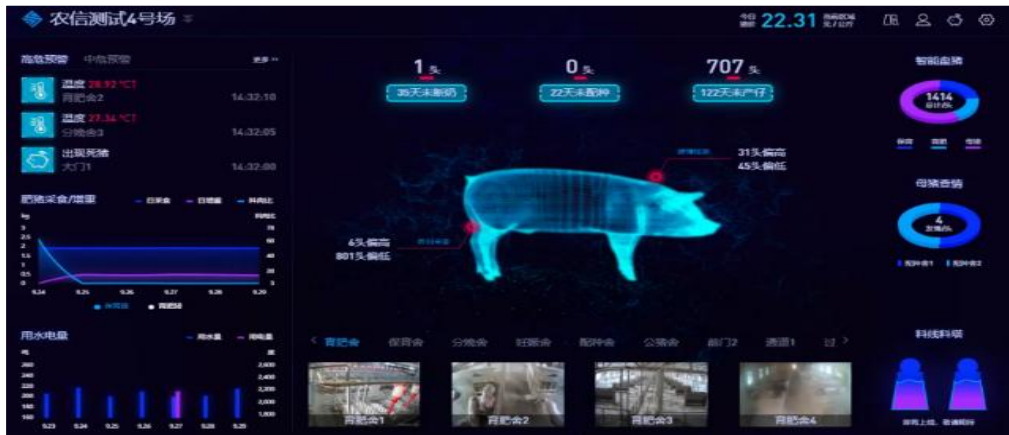
2.6 畜禽养殖信息化技术进展



- **高效安全养殖信息化技术：**采用机器视觉技术、微机电技术和人工智能技术初步解决了家禽、奶牛个体识别、跟踪、行为监测以及种鸡生长性能和奶牛乳房炎、跛行、发情检测问题。



奶牛养殖智能信息管理系统



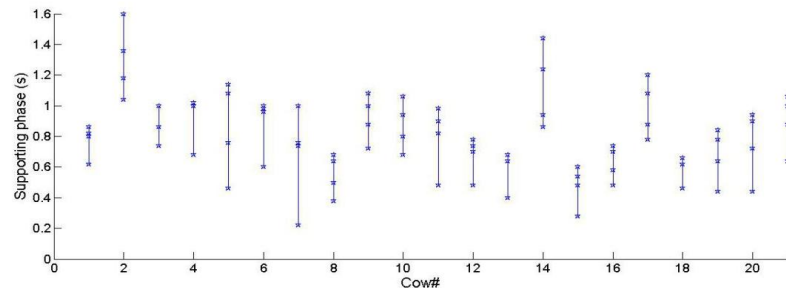
生猪规模化安全高效养殖大数据平台

2.6 畜禽养殖信息化技术进展



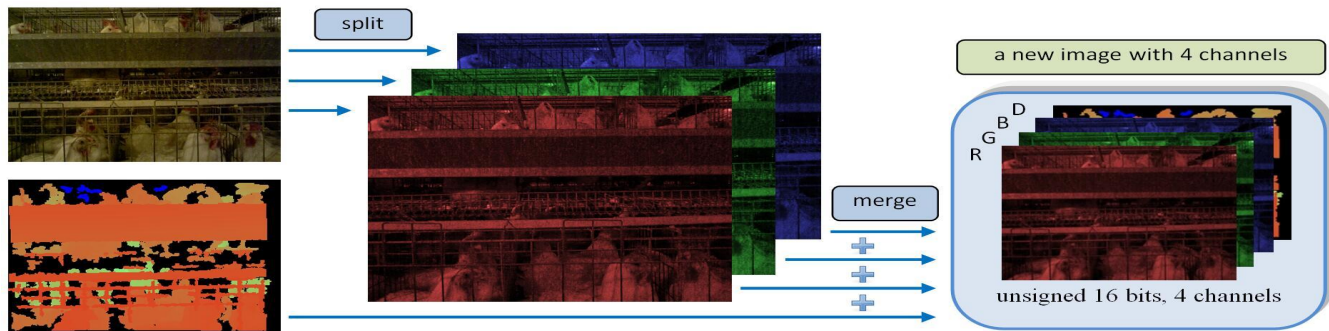
中國農業大學
China Agricultural University

● 高效安全养殖信息化技术



重度跛行奶牛四肢支撑时相关性

利用深度学习算法对可见光奶牛行走图像进行奶牛牛蹄目标定位



基于机器视觉的
笼养鸡异常
行为检测

2.7 畜禽装备制造加工水平显著提升

- 畜牧装备生产企业普遍引进机器人加工等自动化生产设备，设备加工质量得到明显提升
- 国内大型养殖场主体设备已具备国际竞争能力
- 部分畜牧养殖设备已经出口到发达国家





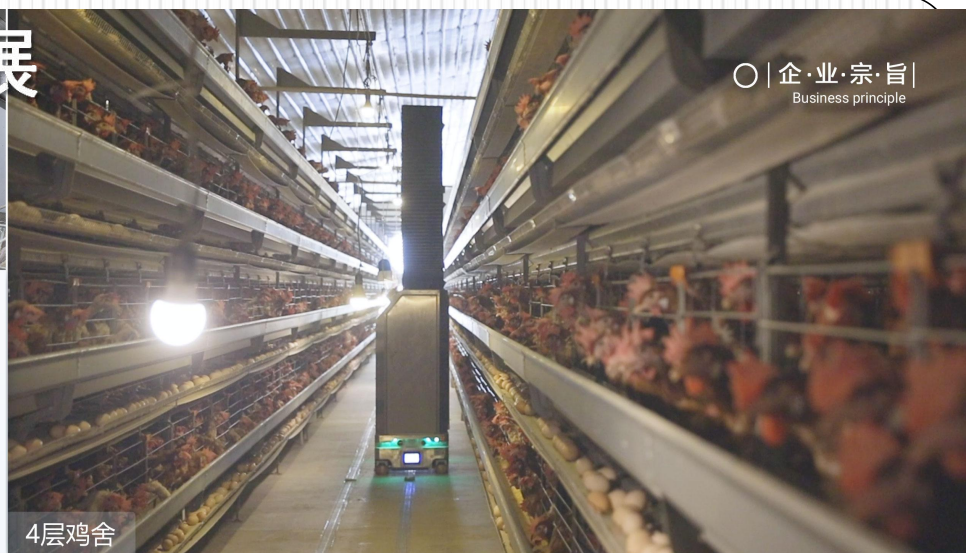


蛋禽养殖机器人研发应用进展

企业宗旨
Business principle



为家禽养殖
提供轻松智能解决方案



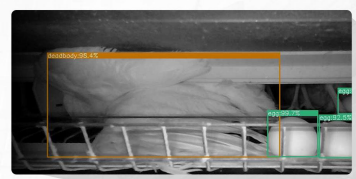
蛋禽养殖机器人研发应用进展



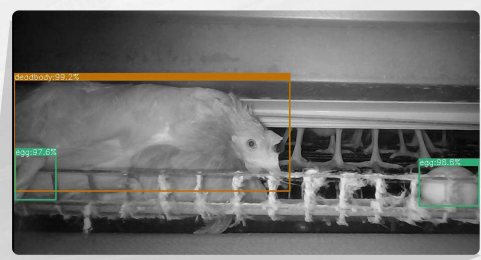
动态清零

光吃饭，不干活？淘了！

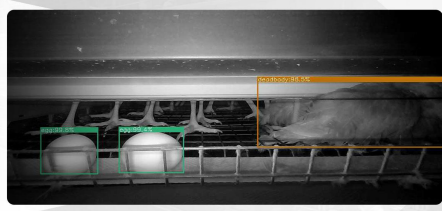
卡鸡



弱鸡



病鸡



绝产鸡



死鸡



代“王”巡山 远程巡检

2022-04-26 14:20:29



2022-05-27 16:08:14



Camera 01

开启对讲 语音播报 00:00

高清

开启对讲 语音播报 00:00

高清

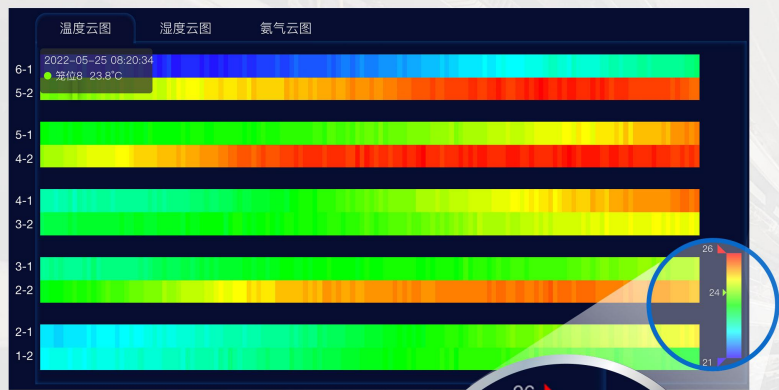


代“王”巡山 笼位直播

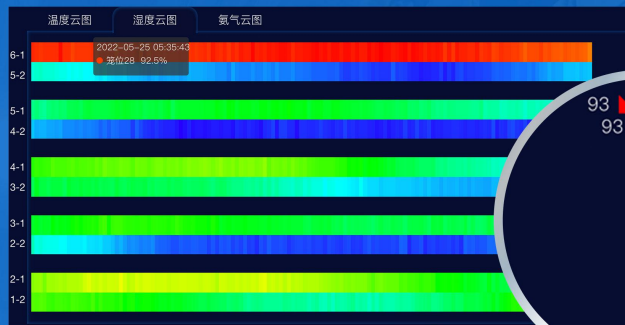


决策参谋 整舍云图

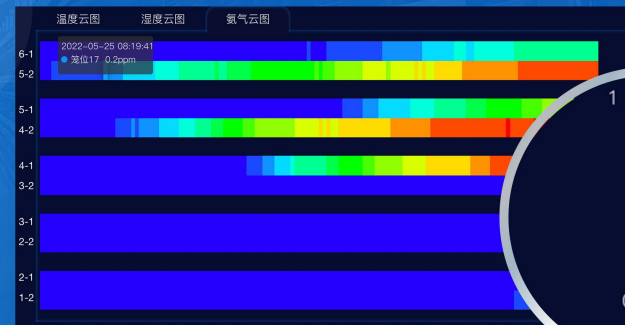
以面代点，足够多的“监测点”，才能绘制出完整的“监测面”



你以为是温差是2°C?
但实际可能达到了5°C!



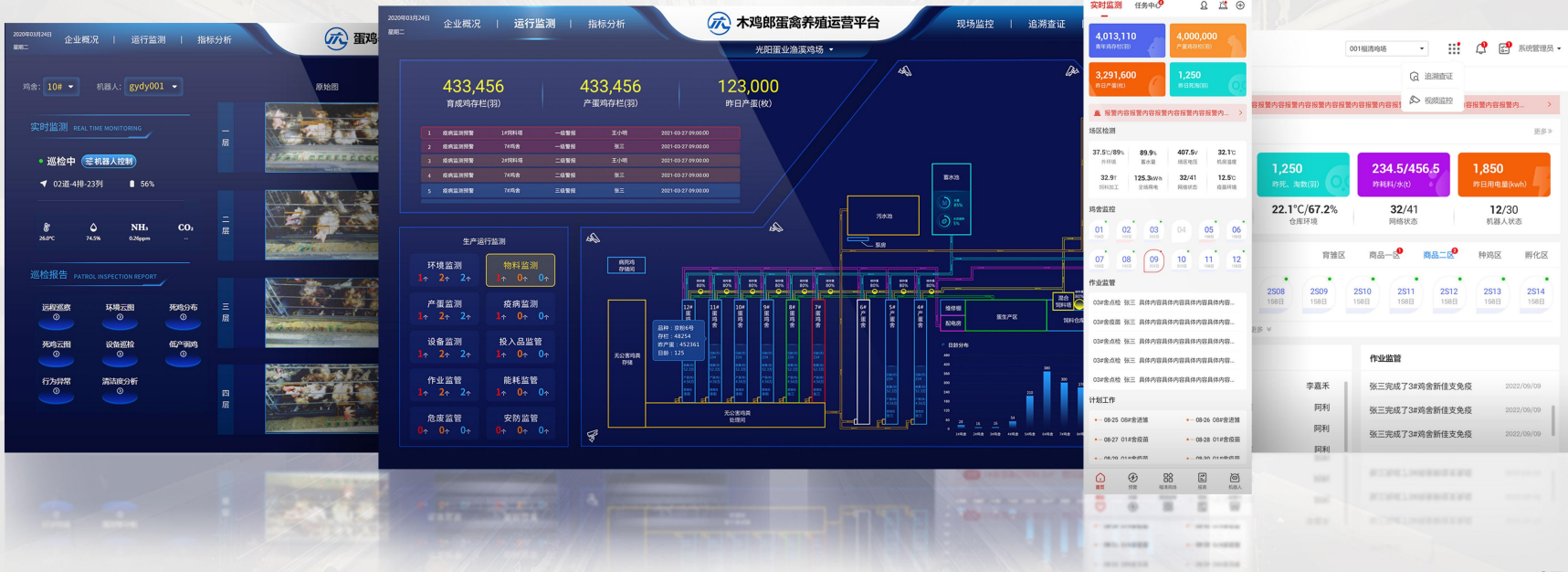
你以为是湿度只相差10%，但实际可能达到15%以上!



你以为是氨气浓度差异在0.05个ppm，但实际远不止这么多!

三屏合一

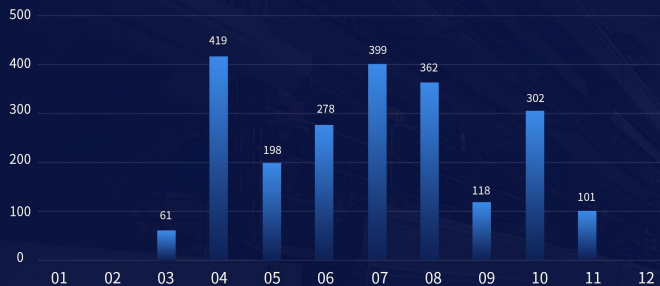
全方位数字化服务，让管理更简单，更便捷，更透明



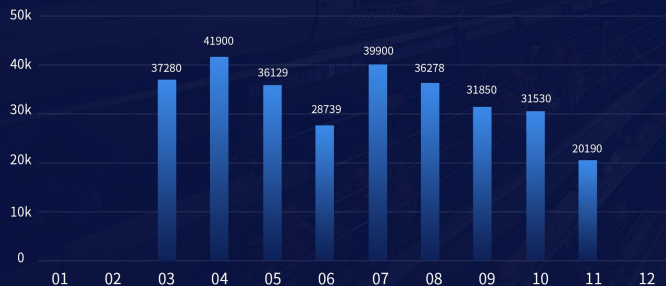
农场数据 全程掌握：鸡

鸡群状态全掌握，差异化对比，问题早发现

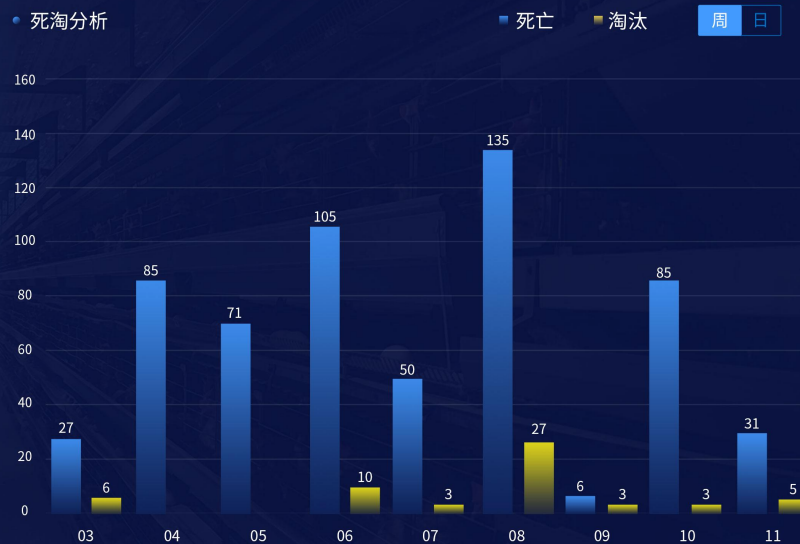
• 日龄分布



• 存栏分布



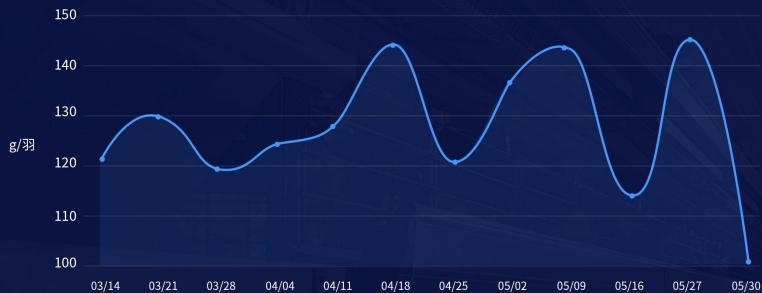
• 死淘分析



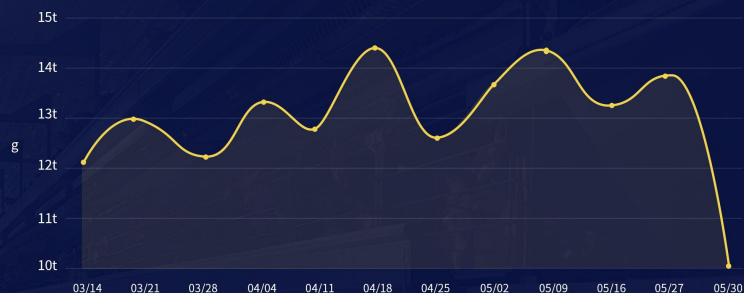
农场数据 全程掌握：料

耗料趋势实时监测，饲料配方标准化

• 单只耗料分析



• 日耗料量



• 饲料配方

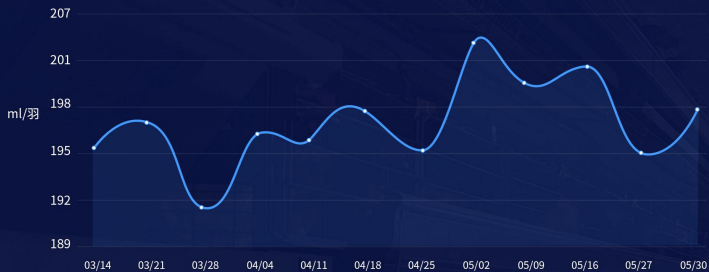
批次	鸡舍	开始日期	结束日期	开始日龄	阶段 (理论)	325R	325+R	C1335	C1335+	C1333	C1332
CK202104	04	2022-05-05		369	产蛋	100					
CK202104	04	2022-04-28	2022-05-04	362	产蛋		100				
CK202104	04	2022-04-24	2022-04-27	358	产蛋	100					
CK202104	04	2022-03-27	2022-04-22	330	产蛋	100					
CK202104	04	2022-03-07	2022-03-26	310	产蛋		100				
CK202104	04	2021-10-21	2021-10-30	83	产蛋			100			

农场数据 全程掌握：水

耗水趋势实时监测，水位动态预警，确保用水安全

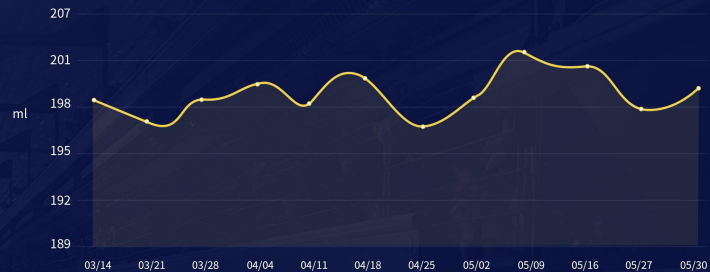
● 单只耗水分析

月 周 日



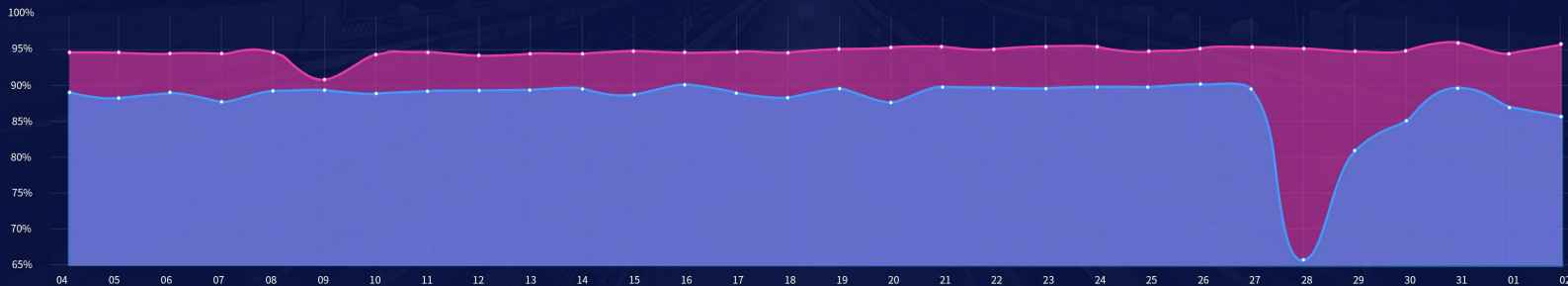
● 日耗水量

月 周 日



● 近30日水位

— 最高水量 — 最低水量

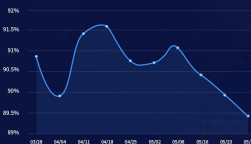


农场数据 全程掌握：蛋

产蛋性能及时监测、品质异常及时反馈，问题改善更及时

产蛋良率分析

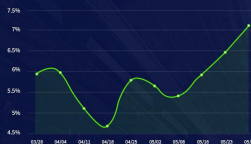
合格蛋率分析



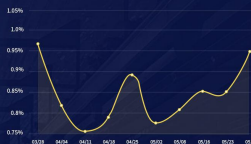
优蛋率分析



裂蛋率分析



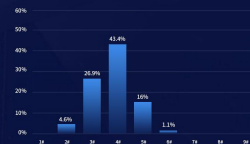
流清率分析



脏蛋率分析



蛋重分布



近30日产蛋率





3 畜禽智能养殖关键制约因素

生产过程数据的自动、实时远程、准确真实采集、传输和存贮

信息采集

- 畜舍数据
- 设备工况
- 环境参数
- 生长参数
- 饲喂数据
- 饮水数据
- 投药数据
- 产品数据
- 清粪数据
- 典型行为
- 畜禽生理



- 建立大数据系统，融合环境、设备、畜禽生产过程数据；解析互作关系
- 建立畜禽生长模型、生产模型&预警模型
- 数据挖掘与智慧牧场管理
- 实现精准环控、精准饲喂、精准免疫



3 畜禽智能养殖关键制约因素

■ 数据的准确性

- 传感器的失真：精度、稳定性、寿命
- 监测点代表性：空间环境分布非均匀、动物个体差异

■ 数据库的可靠性

- 数据存贮位置：云端？用户可读性？数据安全性？

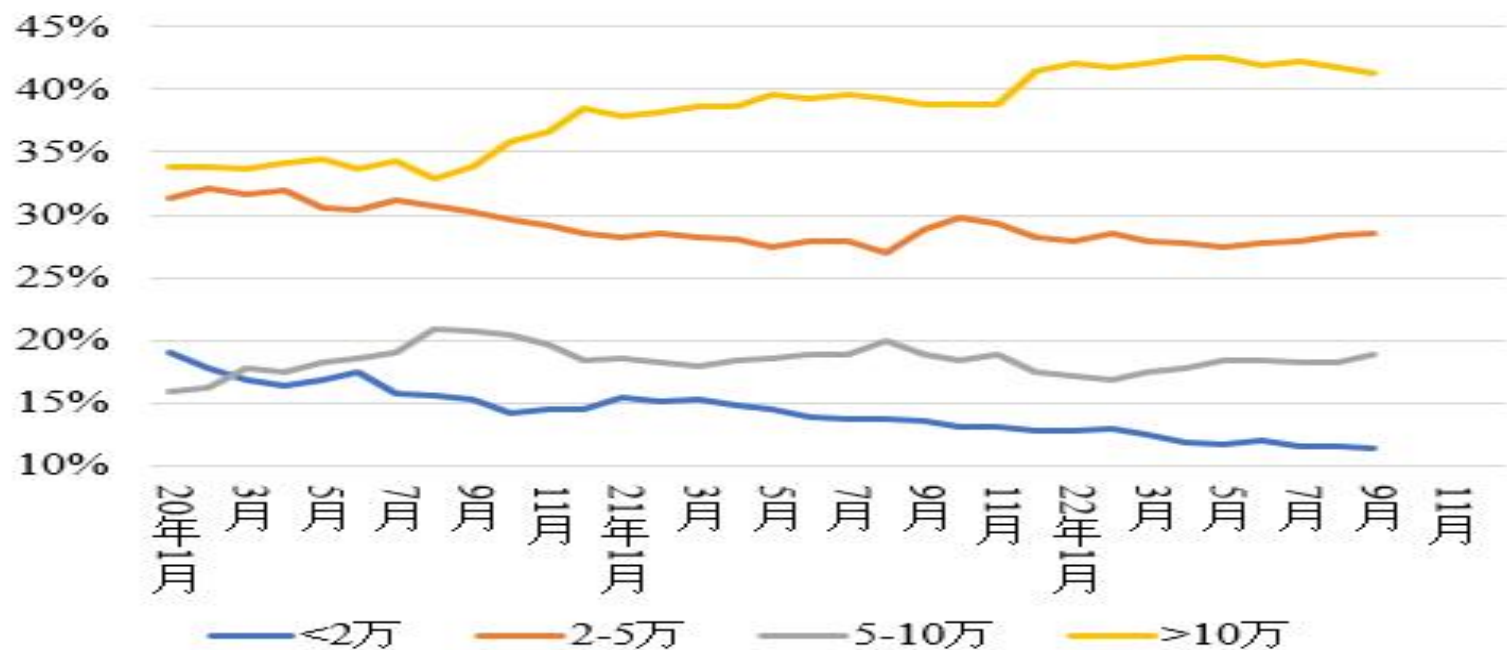
3 畜禽智能养殖关键制约因素



- 我国大型养殖场对智能养殖装备技术需求迫切
- 中小型养殖场、家庭农场等对智能化技术及装备有需求，但投资压力大、管理与服务跟不上
 - 中小规模养殖是我国畜禽养殖的主体，占70%以上
 - 中小规模养殖场的机械化水平低，自动化还没有实现，更谈不上智能化；养殖设施装备改造难度大
 - 设施装备技术服务成本高、需要加强组织化创新

3 畜禽智能养殖关键制约因素

■ 2020年1月~2022年9月：全国商品蛋鸡分规模存栏量占比





3 畜禽智能养殖关键制约因素

■ 如何破解畜禽养殖数字化技术的难点？

- 感知技术——微型传感技术有待突破！
- 网络技术——进入领先世界的5G时代！
- 品种、营养、兽医等技术属世界水平！
- 设施环境与设备对畜禽舍热湿环境的可控性
- 养殖工艺与设备是否能做到精准饲喂？

□ 关键是缺复合型人才，融合畜禽生理、行为、环境、电子、信息、工程等交叉学科复合型人才

3 畜禽智能养殖关键制约因素



■ 生产管理劳动强度大：不好干或不愿意干的环节！

- 环境控制：自动控制参数的调整、进风窗开闭执行？
- 清粪系统：清粪设备维护困难，没人愿意去修
- 排风口粉尘臭气收集处理系统
- 病死畜禽的巡检与清理：家禽的叠层笼养
- 家畜个体的精准饲喂
- 养殖数量的盘点

3 畜禽智能养殖关键制约因素

- 依靠软件控制的设备跟国外差距仍较大
 - 畜禽舍环境控制系统
 - 产品分级分类控制系统（鸡蛋、挤奶等）
 - 数字化技术与数据库建设跟不上（理念、技术）
- 控制模型等核心技术的基础研究亟需加强



4 中国式畜牧业现代化与智能化

4.1 发达国家智能养殖(PLF)技术进展

■ 欧盟自2003年开始召开Precision Livestock Farming(PLF)

双年会，涉及内容广泛：

- 环境参数监测与控制
- 动物行为与生理参数自动实时监测与感知
- 奶牛挤奶机器人、喂料和清粪机器人等
- 猪咳嗽声音监测与健康分析



4.2 欧美国家畜牧业的现代化与福利化转型

- 欧美的动物福利法逆转了现代牧场建设的方向：
 - 1999年欧盟立法，2012年1月开始禁止传统笼养、2013年1月开始禁止妊娠母猪的限位饲养
 - 美国加州2008年立法，2015年1月开始禁止蛋鸡笼养
 - 俄亥俄等6个州也相继立法，要求2025年1月开始禁止蛋鸡传统笼养等；麦当劳等2000余家大型食品企业和超市相继宣布2025年开始不再销售和使用笼养鸡蛋

4.2 欧美国家畜牧业的现代化与福利化转型

■ 从动物福利理念到福利养殖技术模式的转换升级

➤ 福利养殖技术与新型装备水平不断改进与完善，蛋鸡和猪的健康水平与生产性能指标显著提升

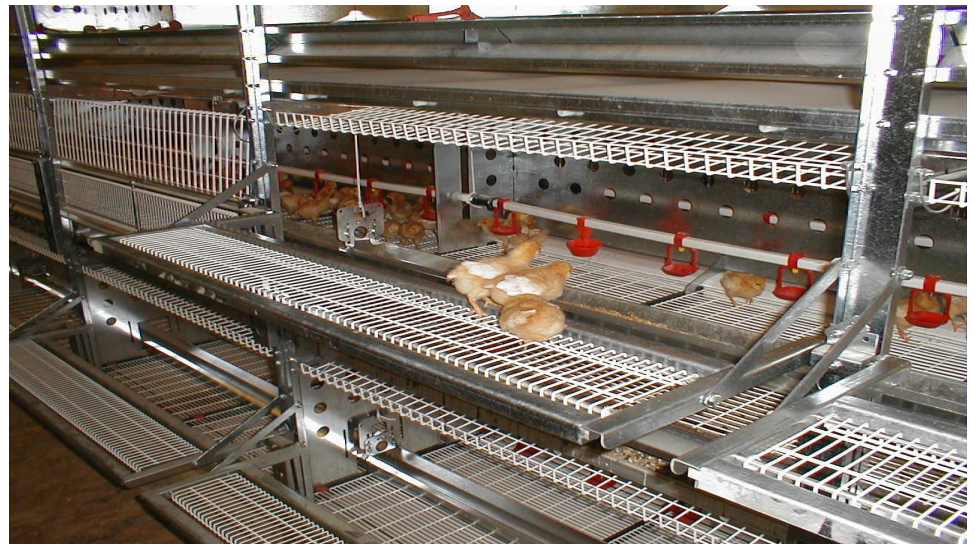
➤ 新型福利养鸡系统：欧盟2020地平线计划

——用于替代抗生素的关键措施



■ 国外蛋鸡福利化 健康养殖模式的 探索





■ 荷兰新型蛋鸡养殖系统



■ 欧洲最新的蛋鸡叠层福利养殖模式



■ 欧洲最新的蛋鸡叠层福利养殖模式



■ 欧洲最新的蛋鸡叠层福利养殖模式

- 已不用垫料

- 主要生产性能指标：

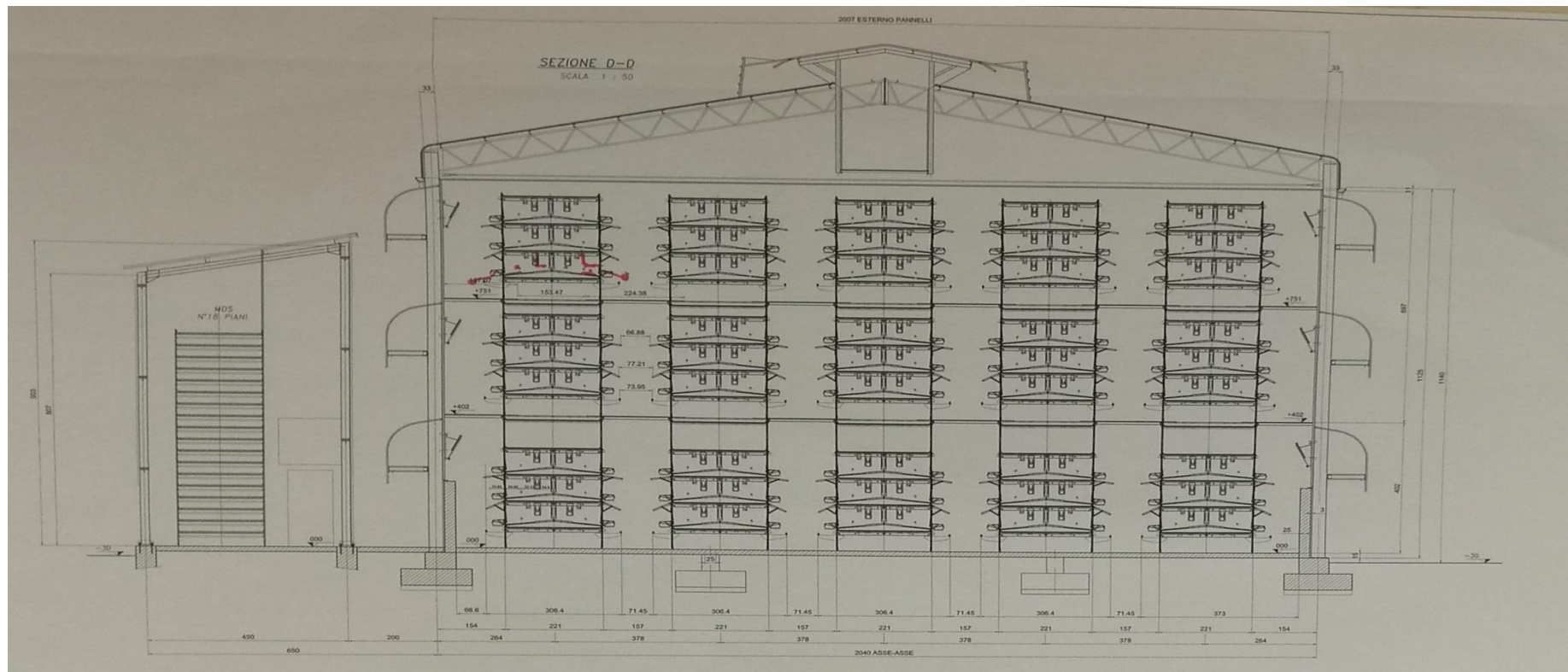
- 单栋饲养量（2*3层*5列）：8.4万只

- 95%以上产蛋率：维持22周

- 72周淘汰时产蛋率：89.6%



■ 欧洲最新的蛋鸡叠层福利养殖模式



□ 拟新建单栋24万只蛋鸡的自动化立体散养鸡舍

■ 欧洲现代猪场

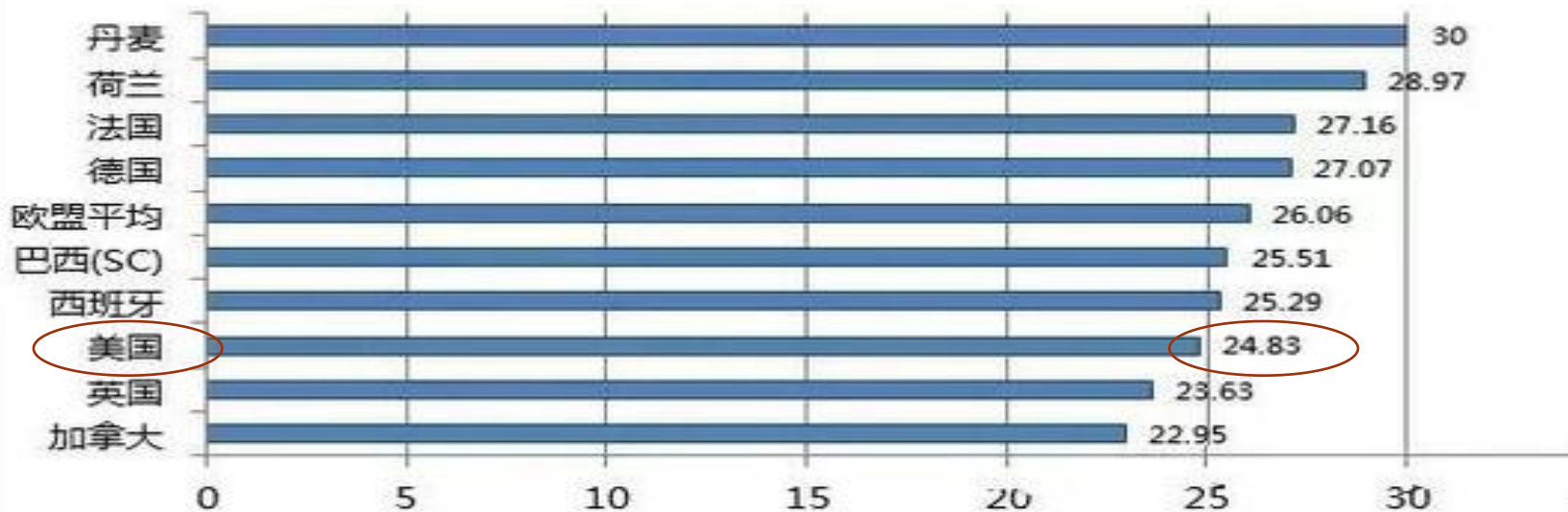
- 妊娠母猪大群饲养（初产100头/群
经产200头/群）



替代美国的定位饲养模式

■ 世界各国猪的生产水平比较 (2014年)

母猪年提供断奶仔猪数 (PSY)



□ 数据来源：英国养猪协会2014年12月5日发布的全球养猪报告

[引自：猪场动力网]



■ 世界各国猪的生产水平比较（2016-2017年）

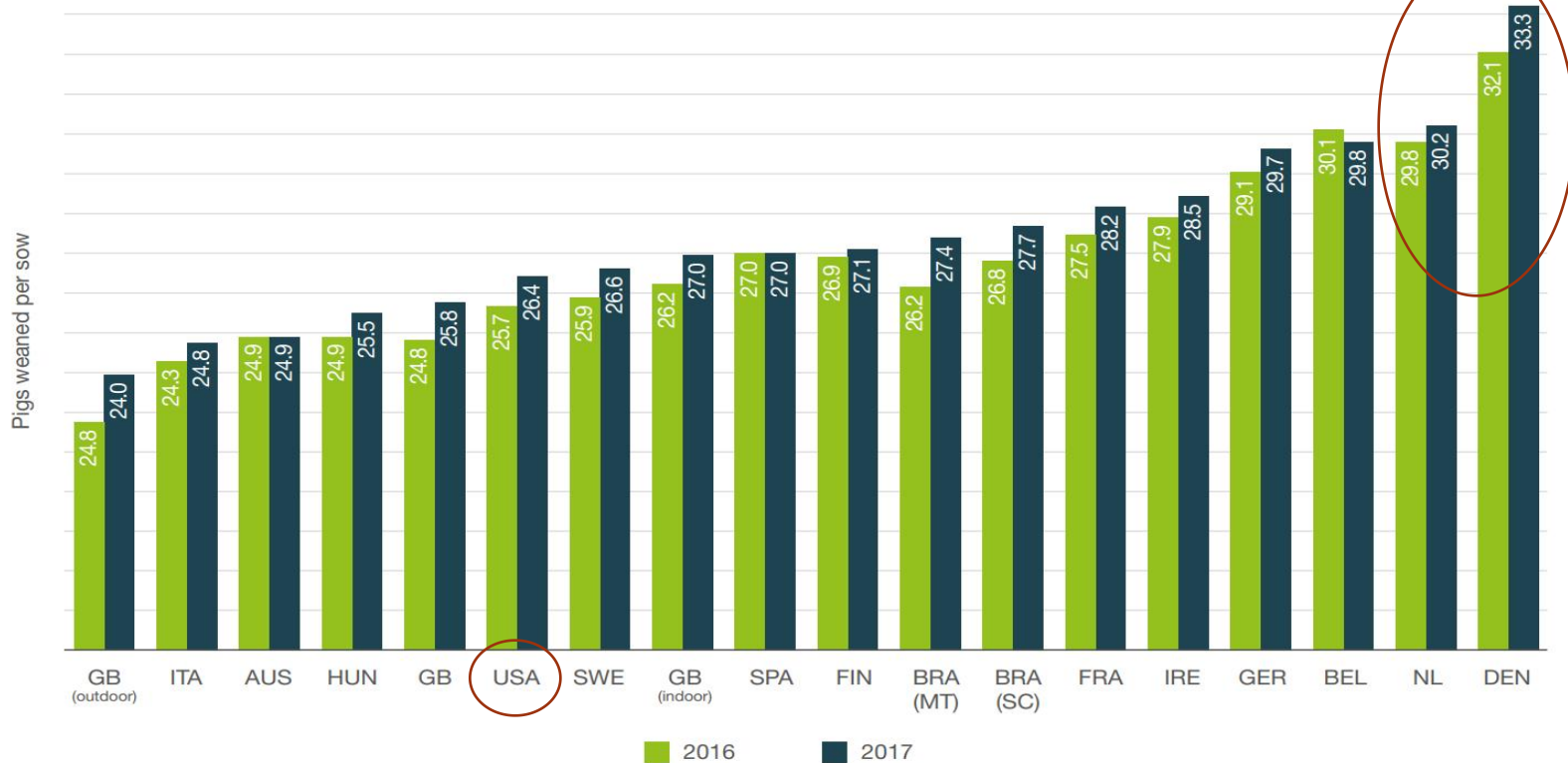
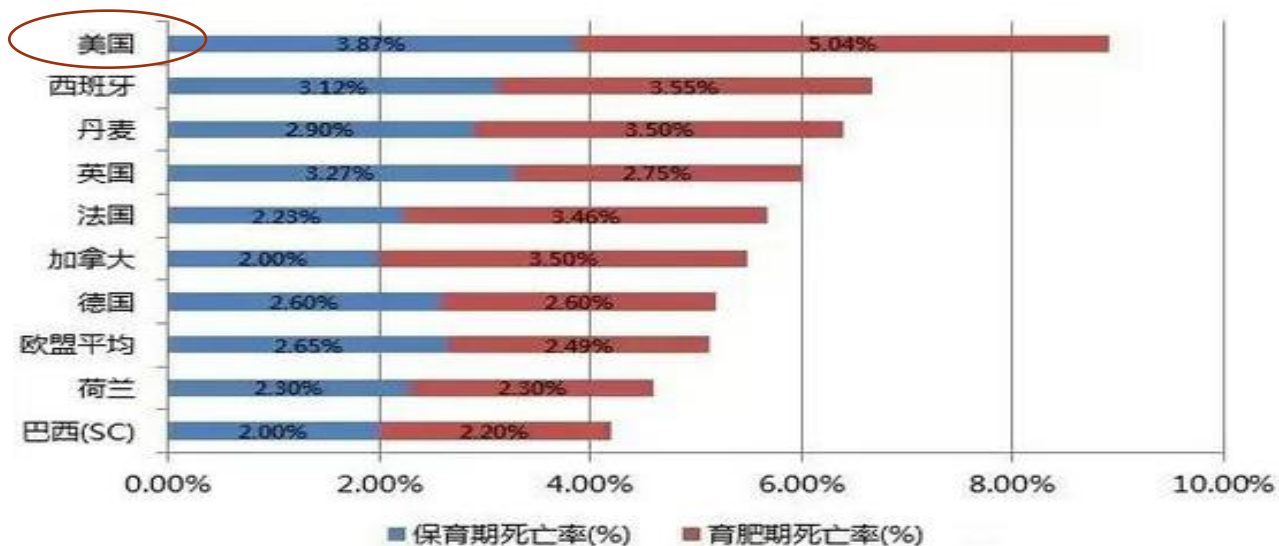


Figure 5. Pigs weaned per sow per year, 2016–2017

■ 世界各国猪的生产水平比较 (2014年)

保育至育肥死亡率



□ 数据来源：英国养猪协会2014年12月5日发布的全球养猪报告

[引自：猪场动力网]



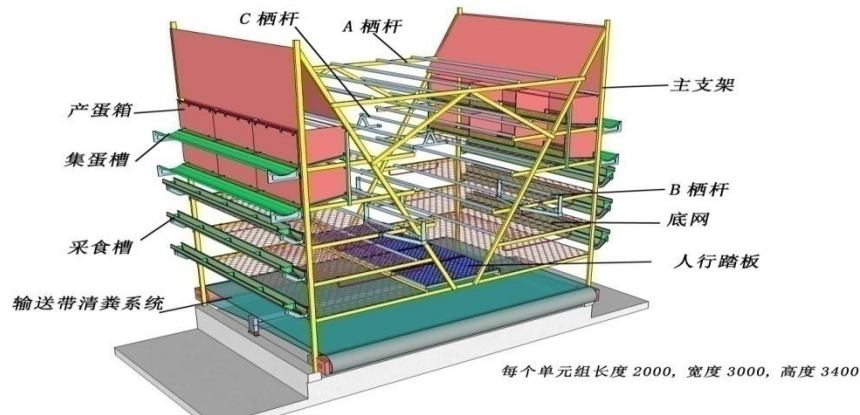
4.3 “十四五” 畜禽智能养殖装备技术发展方向

- 国家启动了“畜禽绿色高效智能养殖工厂创制与应用”重点研发计划项目：智能养猪（2021）、智能养鸡（2023）
- 各省也在启动省级绿色高效智能养殖重点项目
 - 山东省乡村振兴重点专项“畜禽绿色高效智能养殖工厂化技术研发应用”：由省级以上农业园区内的企业牵头申报，包括生猪、蛋鸡、肉鸡、肉牛、奶牛等；2022年启动5-7项

4.3 “十四五” 畜禽智能养殖装备技术发展方向

- 在“十三五”关键技术突破基础上，“十四五”开始系统集成——智能养殖工厂
- 问题：工厂化生产模式如何确定？
 - 我国目前推广的养殖工艺模式是国外20世纪末的技术，以集约化高效生产为主
 - 国外现在已经逐步淘汰，转向动物福利养殖新模式
 - 畜牧业如何实现“绿色、健康、高质量”中国式现代化？

4.4 我国福利化健康养殖装备技术的创新发展



蛋鸡叠层立体散养系统单元

ZL 2015 1 02437173 栖架式蛋鸡养殖架

ZL 2012 1 01605375 一种饲养家禽的自动落料食槽



新型蛋鸡栖架养殖系统

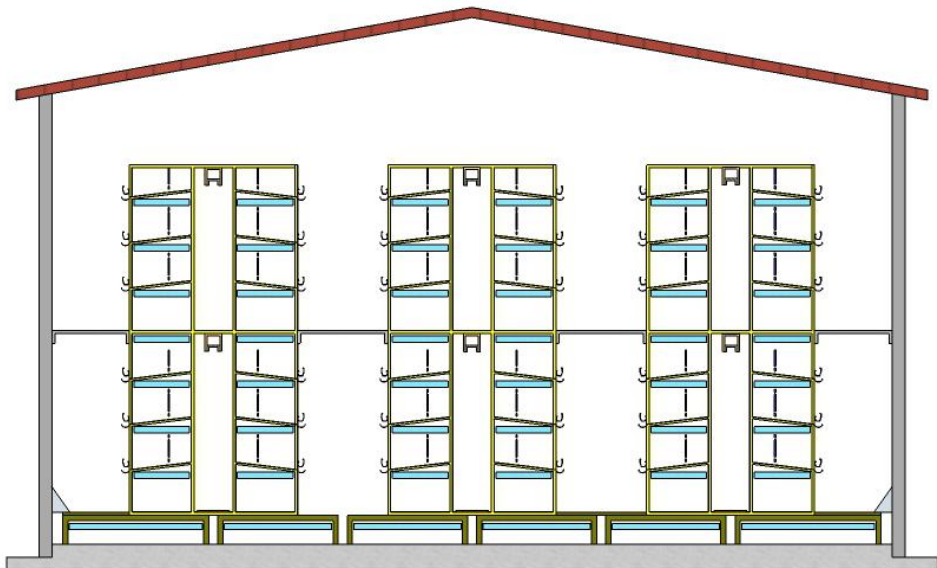


中國農業大學
China Agricultural University

■ 蛋鸡新型栖架立体散养系统产业化开发



中國農業大學
China Agricultural University



栋舍3-5万只规模栖架系统



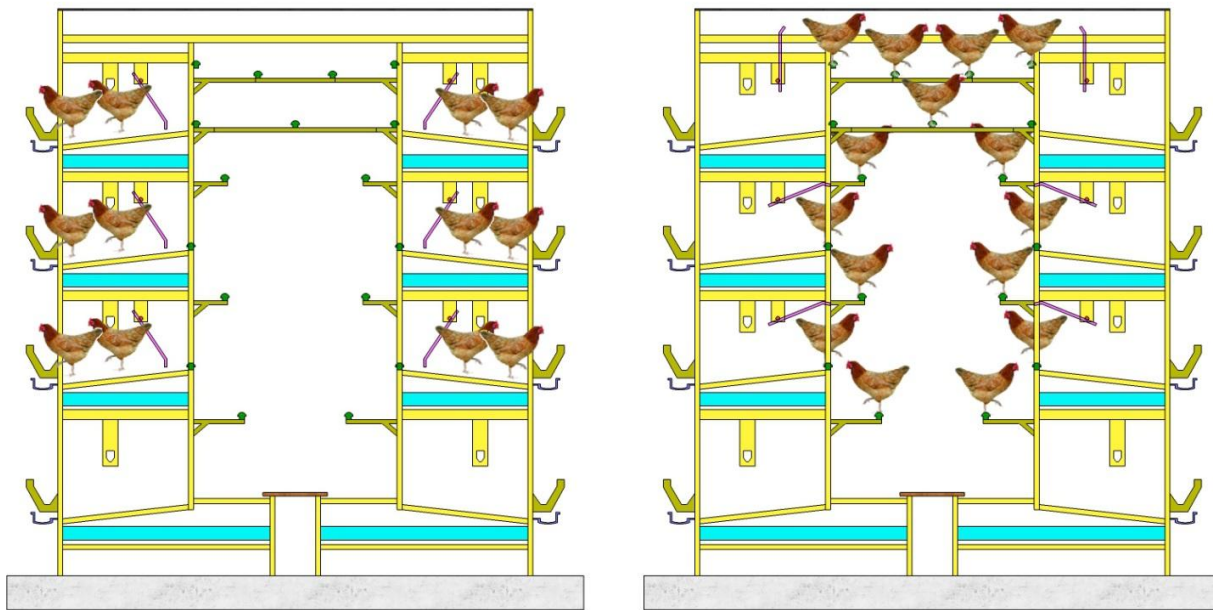
1-3万只规模栖架系统

ZL 2017 1 07739643 一种立体栖架散养鸡舍

SCI论文: Zheng Hongya, Li Baoming, Chen Gang, Wang Chaoyuan. Improving utilization of nests and decreasing mislaid eggs with narrow width of group nests. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, 11(1): 83-87

■ 中国式蛋鸡福利化健康养殖模式创新

CAU蛋鸡网上立体散养示意图



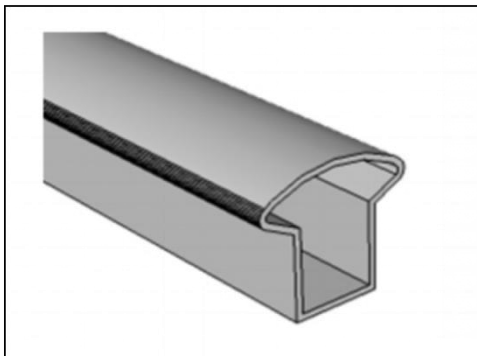
a. 笼门关闭状态

b. 笼门开启状态

ZL 2016 1 0384442X 一种立体栖架升降门

ZL 2016 2 05146413 一种方便免疫抓鸡的隔离网

T型栖杆结构



T型栖杆
示意图

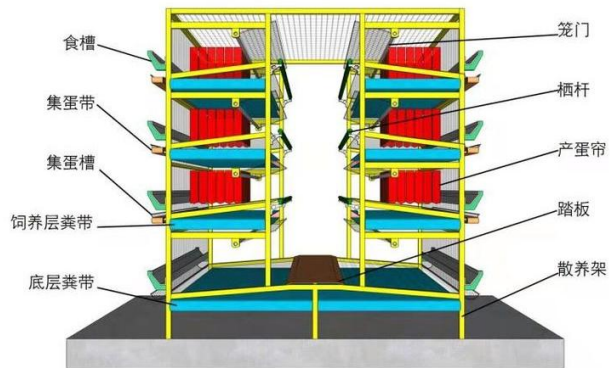
鸡只在T型
栖杆行走图

鸡只夜晚在
T型栖杆栖
息图

鸡只白天
在T型栖
杆活动图



T型栖杆，上表面是弧形，且向两侧延伸，具有向内收缩的边沿，既有利于鸡爪抓握又利于鸡顺着栖杆行走。



CAU蛋鸡网上立体散养设施示意图

南列单元组鸡只数:

$$16 \times 2 \times 4 \times 2 = 256 \text{只}$$

鸡只活动底网面积为:

$$(57600 + 28800 + 2400 + 204800) / 256 = 1147 \text{cm}^2 / \text{只}$$

北列单元组鸡只数:

$$20 \times 2 \times 4 \times 2 = 320 \text{只}$$

鸡只活动底网面积为:

$$(57600 + 28800 + 2400 + 204800) / 320 = 917 \text{cm}^2 / \text{只}$$

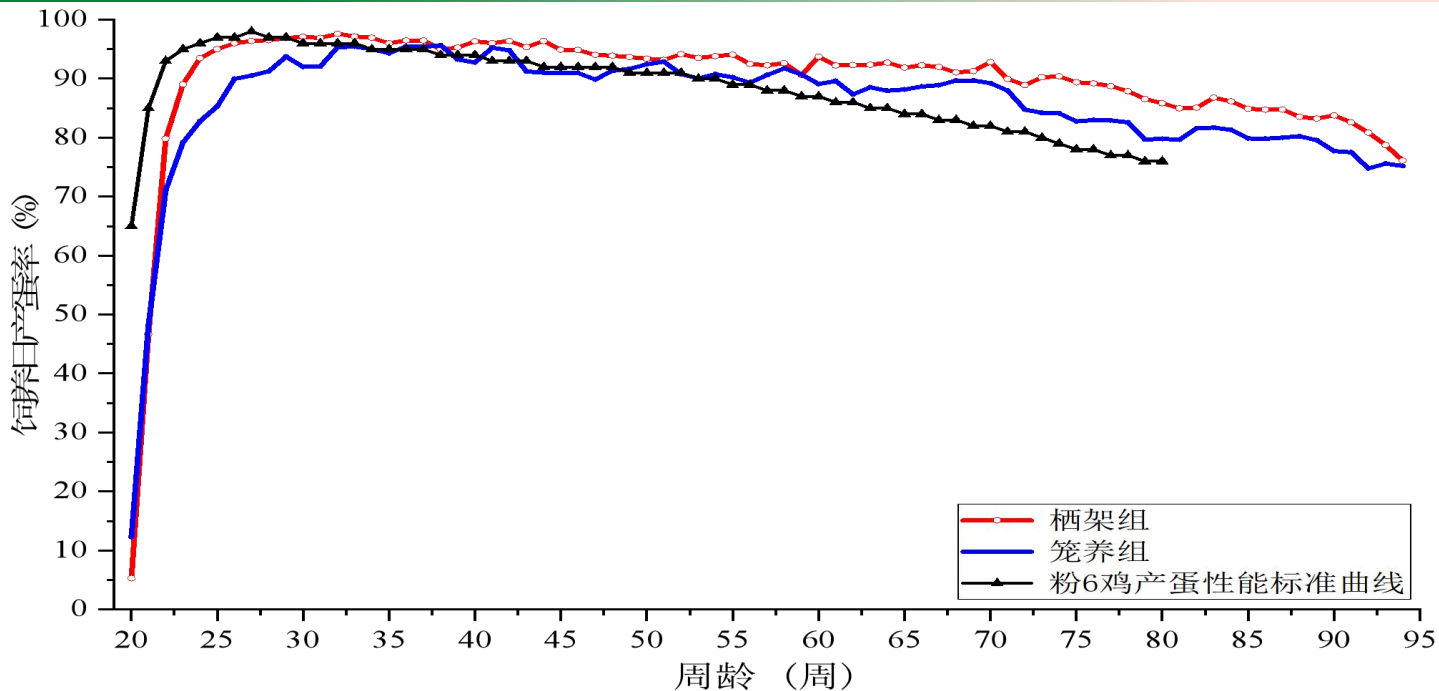


◆ 蛋鸡立体散养和传统笼养的对比

- 对蛋鸡的活动空间对行为、抗体的影响
- 两种养殖方式对健康与生产性能的影响



■ 20-94周龄产蛋率



□ 相比于笼养系统，栖架散养系统产蛋效率高，

平均每只蛋鸡产蛋数：栖架散养464枚，笼养451枚

■ 栖架和笼养系统生产性能测定结果

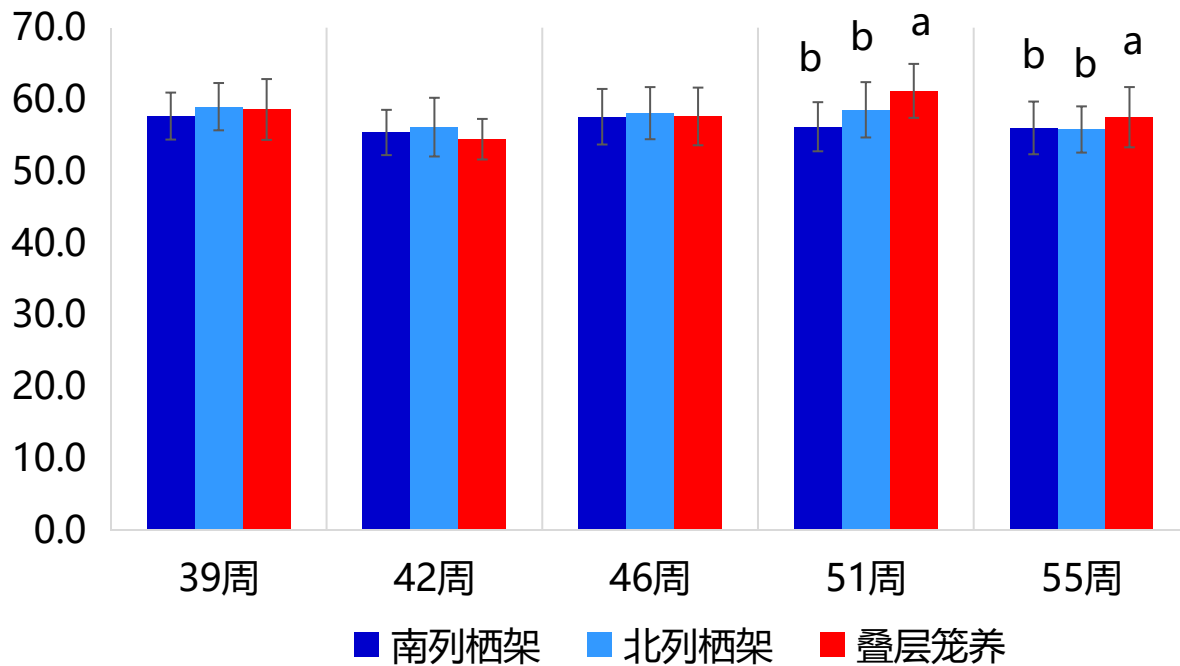


项目	栖架组	笼养组	P值
死淘率(%)	9.01	8.13	-
料蛋比	2.39	2.36	-
鸡蛋破损率(%)	2.37±0.18	3.46±0.25	0.002
21周龄蛋鸡体重(g)	1503.7±18.5	1602.2±33.0	<0.001
94周龄蛋鸡体重(g)	1752.3±27.1	1893.9±30.9	0.001

蛋品质变化趋势



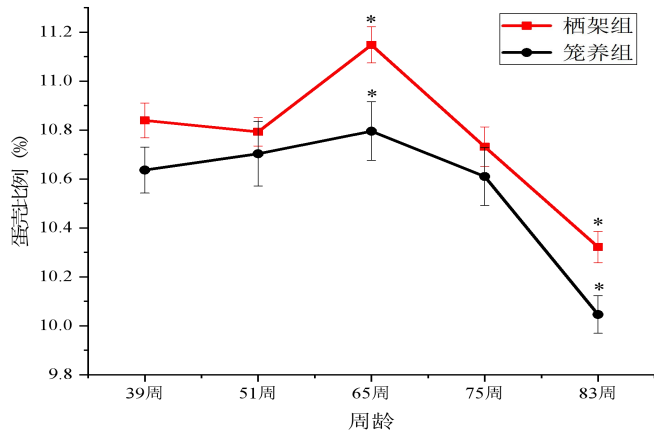
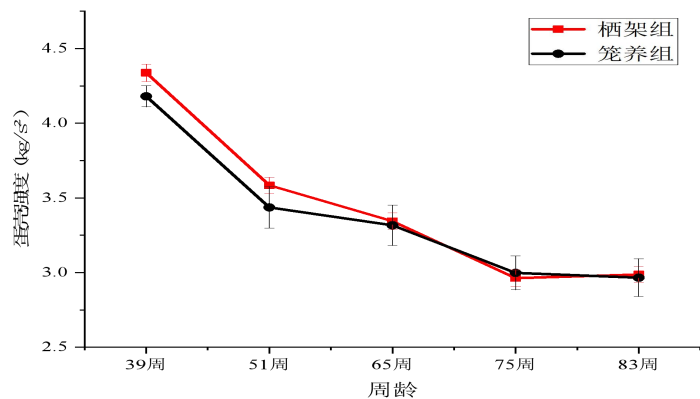
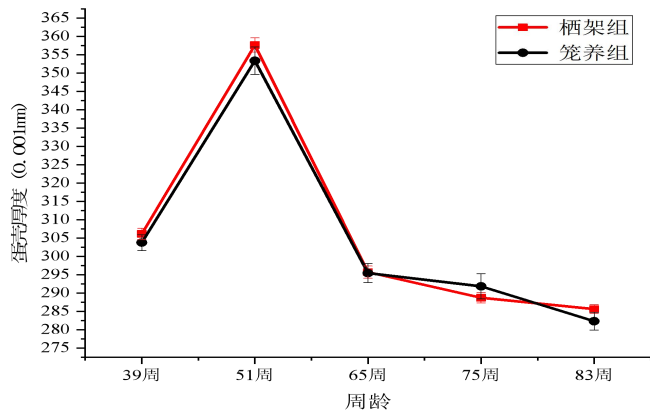
◆ 蛋重



蛋品质—蛋壳质量



中國農業大學
China Agricultural University



蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋壳比例

➤ 随着周齡增加，两种饲养系统的蛋壳质量逐渐降低

➤ 栖架散养系统蛋壳比例显著高于笼养组，**整体蛋壳质量高于笼养系统**

■ 肉质对比



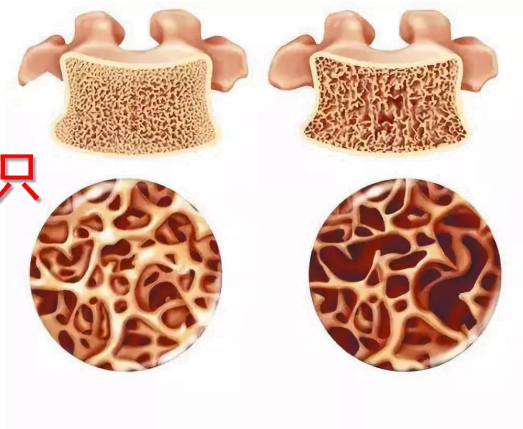
组别	栖架	笼养
活重 (g)	1915.15 ± 192.11	2081.62 ± 245.99
屠体重 (g)	1781.00 ± 196.89	1938.01 ± 237.02
半净膛重 (g)	1521.00 ± 168.26	1677.13 ± 224.74
全净膛重 (g)	1344.81 ± 135.07	1456.16 ± 165.03
胸肉重 (g)	102.03 ± 15.83	104.46 ± 15.93
腿肉重 (g)	58.58 ± 6.81	61.93 ± 6.98
肝重 (g)	33.46 ± 8.83	40.47 ± 14.95
腹脂重 (g)	71.9 ± 17.22	113.63 ± 53.43
肌胃重 (g)	25.52 ± 2.82	25.67 ± 3.32

■ 骨骼强度对比



组别	骨矿密度 (g/m ³)	骨矿含量 (g)
栖架	0.2373 ± 0.029	4.2009 ± 0.544
笼养	0.2261 ± 0.021	3.8449 ± 0.505

栖架立体散养鸡只



叠层笼养鸡只

谢谢！

欢迎提问交流！

李保明

中国农业大学水利与土木工程学院

电话:18618321961

Email: libm@cau.edu.cn