

# 基于 LMDI 模型对生猪水足迹的计算与研究

姬亚航, 李林葳, 刘振宇\* (山西农业大学信息科学与工程学院, 山西晋中 030600)

**摘要** 随着近年来人口的增加, 对生猪的需求量也不断增加, 因此在生猪养殖过程中如何实现低成本养殖、绿色养殖是现在生猪养殖的一个重要方向。选用生猪生产耗水作为研究对象, 计算生猪生产耗水, 并运用 LMDI 分解法比较和分析不同因素对生猪生产耗水的贡献。研究的目标包括不同体型和品种的生猪, 以及其在不同时期的用水情况, 从而建立一个使用简单并且开放的生猪全生命周期的水足迹计算管理系统。

**关键词** LMDI 模型; 水足迹; 生猪

中图分类号 S-058 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)19-0211-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.055



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Calculation and Research on Water Footprint of Pig Based on LMDI Model

Ji Ya-hang, Li Lin-wei, Liu Zhen-yu (School of Information Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shan-dong 030600)

**Abstract** With the increase of population in recent years, the demand for pigs is also increasing, so how to achieve low-cost breeding and green breeding in the process of pig breeding is an important direction of pig breeding. In this research, the water consumption of pig production was selected as the research object. The water consumption of pig production was calculated, and the contribution of different factors to water consumption of pig production was compared and analyzed by LMDI decomposition method. The objectives of the study included pigs of different sizes and breeds, as well as their water use in different periods, so as to establish a simple and open water footprint calculation and management system for pig life cycle.

**Key words** LMDI model; Water footprint; Pig

水资源是地球不可或缺的重要资源, 是人们生产和生活的重要组成部分, 也是人类生存与发展的物质基础。随着社会的发展, 人们对水资源也提出了更高的要求, 对水资源的需求量也日益增加。在全球水资源短缺情况下, 节约用水、实现水资源的最大化利用率是目前需要解决的一个紧急问题。快速的城镇化和工业化进程正威胁着中国原本短缺的水资源, 而不断增加的畜产品消费势必会加重这一状况<sup>[1]</sup>。随着社会的发展, 人们对农畜牧产品的需求量也在不断增加。然而在农畜牧产品的生长过程中都会消耗大量的水资源。近些年, 畜牧业的快速发展中消耗水资源比例日渐增大, 畜牧业占全国农业总产值的 32% 以上, 在畜牧业当中生猪的养殖又占较大的比例, 因此生猪所造成的水资源消耗成为了畜牧业水足迹的重要来源。因此, 科学评估生猪在养殖过程中的水足迹, 科学、准确地计算生猪水足迹对控制用水量, 进而寻求降低生猪的耗水量具有重要的科学和实用价值。

对生猪水足迹的研究和计算不仅可以丰富水足迹的理论研究知识, 完善水足迹的理论体系, 还可以为畜牧业的管理提供科学依据, 增大畜牧业的生产效率, 使水资源得到充分合理利用。

综合目前对水足迹的定义, 人们将生猪的水足迹定义为: 单位质量猪的水足迹是指生猪从出生到出栏的整个生长周期内单位活体重量耗水, 包括生活用水、猪饮用水、处理粪

便污染耗水、冲洗栏位猪舍用水、防暑降温用水的水足迹, 不包括屠宰和加工耗水。鉴于此, 笔者选用生猪生产耗水作为研究对象, 计算生猪生产耗水, 并运用 LMDI 分解法比较和分析不同因素对生猪生产耗水的贡献; 研究的目标包括不同体型和品种的生猪, 以及其在不同时期的用水情况, 从而建立一个使用简单并且开放的生猪全生命周期的水足迹计算管理系统。

## 1 系统分析

### 1.1 平台功能需求

**1.1.1 技术人员自主操作功能。** 基于生猪生活所产生的耗水问题, 选取 6 个猪场的夏季用水量, 核算生猪的水足迹, 运用 LMDI 模型分析猪的水足迹的影响因素, 并提出可行性设计方案。

平台主要面向猪舍工人和养殖技术人员, 提供输入、输出界面, 方便养殖技术人员对水足迹进行计算。

**1.1.2 数据管理功能。** 计算出来的水足迹存入数据库中, 作为历史参考数据。相关人员可以查看历史数据, 对水足迹进行核算和分析; 管理人员可以对数据进行添加、删除、修改等操作。

**1.2 用户类和特性** 对水足迹进行计算的猪舍工作人员可以调用接口, 实现各项操作以及平台资源的自动扩展。

该平台的重要用户类有: ①猪舍工作人员。工作人员记录不同时期生猪的耗水量, 记录数据。②养殖技术人员。通过平台进行数据填写、计算等操作, 并对数据进行添加、删除、修改等操作。

针对不用的猪舍建立不同的数据, 图 1 为用户用例图。

## 2 生猪水足迹算法分析

**2.1 生猪水足迹的计算** 单位质量猪的水足迹是指生猪从

**基金项目** 国家自然科学基金项目“高压脉冲电场协同效应失活封闭型畜禽舍空气中病原体机制研究”(31772651); 山西省留学科技择优资助项目“高压脉冲电场协同效应失活封闭型畜禽舍空气中病原体机制研究”(K271899003)。

**作者简介** 姬亚航(1996—), 男, 山西长治人, 硕士研究生, 研究方向: 农业工程与信息技术。\* 通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事农业物料电磁特性研究。

**收稿日期** 2021-02-09

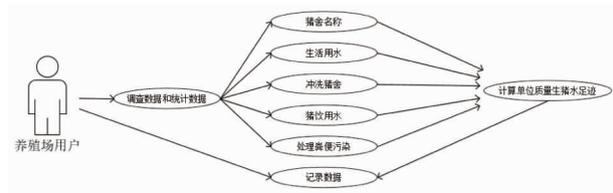


图1 用户用例图

Fig. 1 User case diagram

出生到出栏的整个生长周期内单位活体重量耗水,包括日常生活用水、生猪饮用水、粪便污水消耗水、猪舍冲洗用水、夏季降温用水的水足迹,计算水足迹只在猪舍中进行计算,不包括屠宰等过程中的耗水。单位质量生产水足迹  $WF$  ( $m^3/kg$ ) 计算公式如下,

$$WF = WF_{life} + WF_{drink} + WF_{pollute} + WF_{serve} + WF_{cool}$$

式中, $WF_{life}$  为日常生活用水的水足迹 ( $m^3/kg$ ),  $WF_{drink}$  为生猪饮用水的水足迹 ( $m^3/kg$ ),  $WF_{pollute}$  为粪便污水消耗水的水足迹 ( $m^3/kg$ ),  $WF_{serve}$  为猪舍冲洗用水的水足迹 ( $m^3/kg$ ),  $WF_{cool}$  为夏季降温用水的水足迹 ( $m^3/kg$ )。

**2.2 LMDI 模型** LMDI 模型是一种不产生残差的因素分解法,它通过数学恒等式将目标变量分解成为若干影响因素并进行分析,从而考察各因素对目标的作用方向和相对影响程度<sup>[2]</sup>。

将 IPAT 模型用于水足迹的变化,将猪的水足迹分解为生猪的数量、单位猪的耗水量、人口数量 3 个影响因素<sup>[3]</sup>。将该式用于猪的水足迹研究,分解得出以下公式:

$$W_m = P_m \times A_m \times T_m$$

式中, $W_m$  为第  $m$  年的猪的生产水足迹 ( $m$ );  $P_m$  为第  $m$  年的人口数量;  $A_m$  为第  $m$  年人均猪肉产值 (元/人),即富裕程度;  $T_m$  为第  $m$  年的单位生猪产值的耗水量 ( $m^3/元$ ),即生猪

的技术效应<sup>[4]</sup>。根据 LMDI 分解法<sup>[5]</sup>,  $W_0$  和  $W_t$  分别表示为在第 1 年和第  $t$  年猪的水足迹,则两者之间的变化量  $\Delta W$  可以表示为:

$$\Delta W = W_t - W_0 = \Delta W_p + \Delta W_A + \Delta W_T$$

式中, $\Delta W_p$ 、 $\Delta W_A$ 、 $\Delta W_T$  分别表示人口数量变动、人均生猪产值的变化、单位生猪耗水的变化<sup>[6]</sup>, 3 个变量所引起的水足迹的变化量 ( $m^3$ ) 如下所示:

$$\Delta W_p = \sum_m \frac{(W_t - W_0) \times (\ln P_t - \ln P_0)}{\ln W_t - \ln W_0}$$

$$\Delta W_A = \sum_m \frac{(W_t - W_0) \times (\ln A_t - \ln A_0)}{\ln W_t - \ln W_0}$$

$$\Delta W_T = \sum_m \frac{(W_t - W_0) \times (\ln T_t - \ln T_0)}{\ln W_t - \ln W_0}$$

式中, $P_t$ 、 $P_0$  分别表示人口数量在第  $t$  年和第 1 年的变化;  $A_t$ 、 $A_0$  分别表示人均生猪产值在第  $t$  年和第 1 年的变化;  $T_t$ 、 $T_0$  分别表示单位生猪的耗水量第  $t$  年和第 1 年的变化。

某一因素引起了生猪的水足迹的变化,且变化量为正值 ( $\Delta W_p$ 、 $\Delta W_A$ 、 $\Delta W_T$ ),表示生猪的水足迹为增量效应,即正向驱动;反之则为减量效应,即负向驱动。

**2.3 生猪的水足迹数据分析** 猪的饮水量受很多方面的影响,主要有周围环境、饮食量以及喂养方式等,饮水量根据其体重来计算,大约是其体重的 18%,夏季用水量偏多,大约是其体重的 25%。

将猪场用水分为日常生活用水、生猪饮用水、粪便污水消耗水、猪舍冲洗用水、夏季降温用水<sup>[7]</sup> 五大类,分析并记录五大类用水的比例、耗水量,为后续工作提供数据支撑,进而做到节约用水、绿色养殖,各猪舍采取相应措施,达到保护水资源的目的。通过走访调研了 6 个猪场的夏季用水量,如表 1 所示。

表1 不同猪场夏季用水量的比较

Table 1 Comparison of the water consumption of different pig farms in summer

 $m^3$ 

| 序号<br>Code | 猪场名称<br>Name of<br>pig farm | 生猪数量<br>Number<br>of pigs | 生活用水<br>Domestic<br>water | 猪舍冲洗用水量<br>Water consumption<br>for piggery flushes | 饮水量<br>Drinking<br>water | 处理污水用水量<br>Water consumption<br>for sewage treatment | 日用水量<br>Daily water<br>consumption |
|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---|--------------------------|--|------------------------------------|
| 1          | 日丰猪场                        | 4 522                     | 17.52                     | 30.62   | 35.66                    | 28.62  | 187.44                             |
| 2          | 新晨曦猪场                       | 5 368                     | 24.30                     | 26.62   | 30.32                    | 22.46  | 158.62                             |
| 3          | 董家庄猪场                       | 5 736                     | 19.68                     | 25.68   | 36.86                    | 24.73  | 176.43                             |
| 4          | 西丰依猪场                       | 6 300                     | 17.65                     | 42.59   | 48.49                    | 36.03  | 189.62                             |
| 5          | 大元风和猪场                      | 2 015                     | 6.00                      | 8.62  | 12.01                    | 9.87   | 56.67                              |
| 6          | 上村新元猪场                      | 4 693                     | 13.28                     | 26.22   | 29.84                    | 26.79  | 149.36                             |

断奶以后的幼猪和正在成长过程中的猪的饮水量要与其饲料进食量呈正相关,断奶以后幼猪每日的饮水量为:每日饮水量(L) =  $0.149 + 3.053 \times$  每日干饲料采食量(kg); 成长过程中的生猪饮水量大约为干饲料进食量的 2.5 倍<sup>[8]</sup>。通过以上公式,可以计算出 1 d 中断奶以后的幼猪和生长过程中生猪的用水量。

哺乳母猪的饮水量比其他阶段的生猪消耗量大,尤其是在进食与引用水 2 方面,大约需要水 20 L/d,其他方面与其他阶段的生猪耗水量不大。

水帘降温用水量占夏季日均用水量的 29%,具体如表 2

所示。饮水量占夏季日均用水量的 23%,处理粪便污染耗水量占 28% (有 5% 下降空间),水帘降温水量占 29% (有 30% 下降空间),冲洗用水量占 18% (有 5% 下降空间),生活区用水量占 2% (有 11% 下降空间)。

### 3 系统总体设计

系统后端采用 Java<sup>[9]</sup> 语言编写,Java 是世界上使用最多的编程语言。Java 语言的特点包括面向对象、跨平台、内存自动管理等。Java 有简单容易学习、安全性高、可移植性强、健壮性等特点,Java 语言还在 Web 应用程序的编写上有着优秀的表现,会自动处理内存垃圾,便于内存管理,Java 在运行

时会自动检查错误,检查出错误后会自动消除错误。后端框架基础使用 SpringBoot,数据层使用的是 Mybatis,简单易上手,便

于维护。用户基本信息使用 Mysql,保存用户的信息,使用 redis 保存经常用到的数据来降低整个项目的响应时间。

表 2 猪场水帘降温耗水量

Table 2 Water cooling water consumption of pig farm

| 序号<br>Code | 栋舍名称<br>Name of<br>building | 猪舍数量<br>Quantity<br>个 | 水帘面积<br>Water area<br>m <sup>3</sup> | 使用月份<br>Using month | 蒸发量<br>Evaporation capacity<br>kg/(h·m <sup>2</sup> ) | 日耗水量<br>Daily water<br>consumption//m <sup>2</sup> | 日洒漏浪费<br>Daily spill<br>leakage waste//% |
|------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|---|--|--|
| 1          | 产房                          | 3                     | 27.0                                 | 5                   | 30  | 12.15  | 30                                       |
| 2          | 配种妊娠                        | 4                     | 13.5                                 | 7                   | 30  | 11.34  | 30                                       |
| 3          | 保育舍                         | 4                     | 0                                    | 7                   | 0   | 0  | 0  |
| 4          | 生长育成舍                       | 6                     | 13.5                                 | 7                   | 30  | 17.01  | 30                                       |

前端采用 JavaScript<sup>[10]</sup> 语言编写,采用比较流行的 Vue 框架。Vue 的优点在于可以自底向上应用,是一种渐进式的框架,而且简单易学,Vue 只关重视图层,并且还可以和其他以后的数据库或者项目整合在一起。生猪水足迹计算界面如图 2 所示。

图 2 生猪水足迹计算器

Fig. 2 Pig water footprint calculator

平台采取开放使用的方式,让更多的生猪养殖用户与研究人员参与进来,通过记录用户数据在经济效益和环境效益方面如何合理减少用水量,针对性提出改进方案和措施;对猪舍进行优化改革,达到节约用水的目的。

#### 4 结语

该研究的目的是一个基于面向对象设计技术的生猪水足迹应用系统,该系统可以收集生猪水足迹数据与研究人员分析数据,为用户提供一个开放的平台和共享的数据库,为

我国生猪水足迹计算提供一个专业、可靠、方便的计算机智能化系统。

该系统已经初步实现了生猪水足迹的相关计算,为今后的进一步研究开发积累了宝贵经验,奠定了重要的基础。但该系统仍存在一些有待改善与加强之处,比如针对一些复杂的数据还不能够很好地进行处理和计算,针对类似问题将会继续研究和改进,从而提高水足迹的准确性,这是今后仍需要解决的一个重要问题。

#### 参考文献

- [1] 刘晓磊,栾一博,胡科,等. 中国生猪生产耗水及影响因素分析[J]. 资源科学,2016,38(1):110-118.
- [2] 朱赟,顾世祥,苏沛兰,等. 基于 LMDI 的滇中受水区农业用水量变化影响因素分析[J]. 节水灌溉,2020(12):68-73.
- [3] 孙才志,张灿灿. 中国人均水足迹驱动效应分解与空间聚类分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2018,39(2):1-11.
- [4] 龙爱华,徐中民,王新华,等. 人口、富裕及技术对 2000 年中国水足迹的影响[J]. 生态学报,2006,26(10):3358-3365.
- [5] 谌伟,李荷华. LMDI 分解方法在碳排放领域用法探讨[J]. 生态经济,2015,31(8):93-96.
- [6] 侯希明. 吉林省畜牧业生产水足迹及其影响因素研究[D]. 长春:东北师范大学,2016.
- [7] 邢玲. 夏季肉鸡养殖场降温的几种方法[J]. 现代畜牧科技,2017(2):14.
- [8] 刘芳. 养猪场处理污水稻田利用决策支持系统研究[D]. 扬州:扬州大学,2010.
- [9] 高源. 计算机软件开发中 JAVA 编程语言的应用[J]. 网络安全技术与应用,2021(1):40-42.
- [10] LIMA I, SILVA J, MIRANDA B, et al. Exposing bugs in JavaScript engines through test transplantation and differential testing[J]. Software quality journal, 2021, 29(1):129-158.
- [11] HARTLEY D E, VILLARIN J T, BLACK R X, et al. A new perspective on the dynamical link between the stratosphere and troposphere[J]. Nature, 1998, 391(6666):471-474.
- [12] BLACK R X. Stratospheric forcing of surface climate in the Arctic Oscillation[J]. J Climate, 2002, 15(3):268-277.
- [13] 胡永云. 平流层极地臭氧损耗影响对流层气候的研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版),2006,42(5):561-568.
- [14] 张伟,陶祖钰,胡永云,等. 气旋发展中平流层空气干侵入现象分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),2006,42(1):61-67.
- [15] 陈文,魏科. 大气准定常行星波异常传播及其在平流层影响东亚冬季气候中的作用[J]. 地球科学进展,2009,24(3):272-285.
- [16] BALDWIN M P, THOMPSON D W J, SHUCKBURGH E F, et al. Weather from the stratosphere? [J]. Science, 2003, 301(5631):317-319.
- [17] 胡永云. 关于平流层异常影响对流层天气系统的研究进展[J]. 地球科学进展,2006,21(7):713-720,769.
- [18] WANG L, CHEN W. Downward Arctic Oscillation signal associated with moderate weak stratospheric polar vortex and the cold December 2009[J]. Geophys Res Lett, 2010, 37(9):L09707.
- [19] 龚道溢. 北极涛动对东亚夏季降水的预测意义[J]. 气象, 2003, 29(6):3-6.
- [20] 李春,罗德海,方之芳,等. 北极涛动年代际变化与华北夏季降水的联系[J]. 南京气象学院学报,2005,28(6):755-762.
- [21] 姚秀萍,吴国雄,赵兵科,等. 与梅雨锋上低涡降水相伴的干侵入研究[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2007,37(3):417-428.
- [22] 李崇银,顾毅,潘静. 梅雨与北极涛动及平流层环流异常的关联[J]. 地球物理学报,2008,51(6):1632-1641.
- [23] 赵亮,丁一汇. 梅雨期高位涡源区及其传播过程[J]. 应用气象学报,2008,19(6):697-709.
- [24] 崔佳丽,田文寿,张培群,等. 梅雨发生前对流层顶及平流层异常信号的分析[J]. 气象学报,2012,70(4):655-669.
- [25] 姜晓玲,王东海,尹金方,等. 夏季风爆发前后中国区域对流层顶高度变化特征[J]. 应用气象学报,2016,27(4):445-453.
- [26] 刘毅,赵燕华,管兆勇. 平流层环流异常对 2008 年 1 月雪灾过程的影响[J]. 气候与环境研究,2008,13(4):548-555.
- [27] 向纯怡,何金海,任荣彩. 2007/2008 年冬季平流层环流异常及平流层-对流层耦合特征[J]. 地球科学进展,2009,24(3):338-348.
- [28] 寿绍文,励申申,寿亦莹,等. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,2003:1-370.

(上接第 198 页)