

网络出版时间:2019-10-08 10:45 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.04.004
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20191008.1044.008.html

饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物及免疫功能的影响

姬真真^{1a,2}, 惠 雪^{1a,2}, 石志芳^{1b,2}, 席 磊^{1a,2}, 宁丽丽^{1b}

(1 河南牧业经济学院 a 智能制造与自动化学院, b 动物科技学院, 河南 郑州 450046;

2 河南省畜禽健康养殖与智能装备工程技术研究中心, 河南 郑州 450011)

【摘 要】【目的】研究饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物、免疫器官指数及免疫细胞因子的影响,为微酸性电解水在肉鸡生产中的应用提供参考。【方法】选择体质量相近、健康状况良好的 10 日龄罗斯 308 肉鸡 300 只,随机分为对照组和 A、B、C、D 试验组,每组 3 个重复,每个重复 20 只。对照组正常饮水, A、B、C、D 组分别饮用余氯质量浓度为 0.3、0.5、0.7 和 1.0 mg/L 的微酸性电解水,试验期 21 d,试验结束后测定肉鸡肠道 pH、肠道微生物数量、免疫器官指数和免疫细胞因子。【结果】A 组肉鸡肠道 pH 比对照组显著降低了 9.84% ($P < 0.05$), B、C 和 D 组肠道 pH 比对照组亦有所降低,但差异不显著 ($P > 0.05$)。各试验组肠道微生物数量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。A 组的法氏囊指数、脾脏指数、胸腺指数均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。各试验组 IFN- γ 、IL-2、IL-4 质量浓度均高于对照组,仅 A 组与对照组间差异显著 ($P < 0.05$)。【结论】肉鸡饮用微酸性电解水可降低盲肠 pH,减少肠道大肠杆菌和沙门氏菌数量,增加 IL-2、IL-4 及 IFN- γ 质量浓度,饮用余氯 0.3 mg/L 的微酸性电解水可提高肉鸡的法氏囊指数、脾脏指数和胸腺指数,提示肉鸡饮用微酸性电解水可改善肠道微环境,增强免疫功能。

【关键词】微酸性电解水;肉鸡;肠道微生物;免疫器官指数;免疫细胞因子

【中图分类号】S831.4

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2020)04-0027-06

Effects of drinking slightly acidic electrolyzed water on intestinal microbial and immune function of broilers

Ji Zhenzhen^{1a,2}, Hui Xue^{1a,2}, Shi Zhifang^{1b,2}, Xi Lei^{1a,2}, Ning Lili^{1b}

(1 a College of Intelligent Manufacturing and Automation, b College of Animal Science & Technology,

Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou, Henan 450046, China;

2 Henan Engineering Research Center on Animal Healthy Environment and Intelligent Equipment, Zhengzhou, Henan 450011, China)

Abstract: 【Objective】The purpose of this experiment was to study the effects of drinking slightly acidic electrolyzed water on intestinal microbes, immune organ index and immune cytokines of broilers, so as to provide reference for the application of slightly acidic electrolytic water in broiler production. 【Method】A total of 300 Rose 308 broilers at the age of 10 days with similar body weight and health status were randomly divided into control group and experimental groups of A, B, C and D. There were 3 replicates in each group and 20 broilers in each replicate. The control group received normal drinking water, and the groups A, B, C, and D consumed slightly acidic electrolyzed water with residual chlorine concentrations of 0.3, 0.5, 0.7, and 1.0 mg/L, respectively. The test period was 21 days. At the end of test, intestinal pH, intestinal microbial count, immune organ index and immune cytokines of broilers were determined. 【Result】The in-

【收稿日期】2019-03-29

【基金项目】河南省科技开放合作项目(152106000015);河南省重大科技专项(141100110800)

【作者简介】姬真真(1983—),女,河南温县人,讲师,硕士,主要从事畜禽健康养殖与环境控制研究。E-mail:173838579@qq.com

【通信作者】席磊(1971—),男,河南商丘人,教授,博士,主要从事畜禽健康养殖与环境控制研究。E-mail:xileih@163.com

testinal pH of group A broilers was significantly lower than that of the control group by 9.84% ($P < 0.05$). The intestinal pH of group B,C and D was lower than that of the control group ($P > 0.05$) as well without significant difference. The number of intestinal microbes in each experimental group was significantly lower than that in the control group ($P < 0.05$). The bursal index, spleen index and thymus index of group A were significantly higher than those of the control group ($P < 0.05$). The levels of IFN- γ , IL-2 and IL-4 in the experimental groups were higher than those in the control group, and only group A had significant difference compared to the control group ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Drinking slightly acidic electrolyzed water can reduce pH of cecum, decrease number of *E. coli* and *Salmonella* in intestine, and increase levels of IL-2, IL-4 and IFN- γ . Drinking slightly acidic electrolyzed water with residual chlorine of 0.3 mg/L can increase bursal index, spleen index and thymus index, and improve IL-2, IL-4 and IFN- γ levels of broilers. Therefore, drinking slightly acidic electrolyzed water can improve intestinal microenvironment and enhance immune function of broilers.

Key words: slightly acidic electrolyzed water; broiler; intestinal microbes; immune organ index; immune cytokines

微酸性电解水是稀盐溶液或稀盐酸溶液经过电解得到的具有杀菌作用的消毒溶液,具有物理化学特性稳定的特点^[1-2]。大量研究表明,微酸性电解水在畜禽场区入口、舍内空气环境、物体表面、动物体表等具有显著的消毒杀菌效果^[3-7]。Miyke 等^[8]研究表明,微酸性电解水对鸡舍卫生防疫具有作用,且对动物健康无害。Bügener 等^[9]研究发现,饮水中添加电解水可降低肉鸡死亡率,减少饮水中大肠杆菌和细菌总数,改善水质,减少动物用药,而对肉鸡生产性能和健康无影响。Bodas 等^[10]发现,母羊饮水中添加 3% 的微酸性电解水可以显著减少大肠杆菌和细菌总数,而对产乳量及乳成分无影响。电解水消毒可显著降低肉鸡舍内氨气、微粒浓度及微生物数量^[11-12]。饮水中添加余氯 0.3 mg/L 的微酸性电解水可显著降低饮用水中的细菌总数,使水质达到我国饮水卫生标准^[13-14]。Inagaki 等^[15]对比研究微酸性电解水与无菌水对小鼠的影响,结果表明微酸性电解水不影响动物健康。肉鸡饮用微酸性电解水后,其平均体质量、出栏率、料肉比等生产性能均有不同程度提高^[16]。目前已有的关于微酸性电解水消毒杀菌的研究主要集中在体外抑菌作用方面,对饮用微酸性电解水后肉鸡肠道微生物及免疫功能的影响研究甚少。研究饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物、免疫器官指数及免疫细胞因子的影响,是微酸性电解水替代普通水用于肉鸡长期饮水是否可行的关键问题。为此,本试验对比研究饮用不同质量浓度余氯的微酸性电解水与常规饮用水对肉鸡肠道微生物、免疫器官指数及免疫细胞因子的影响,旨在探讨微酸性电解水代替肉鸡消毒饮用水的可行

性,为肉鸡养殖过程中饮用水的选择提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与仪器设备

1.1.1 试验鸡舍 试验在河南大用有限公司某大型肉鸡养殖场进行。饲养模式为网上平养,饲养网距离地面约 1.2 m,通风方式为纵向负压通风。

1.1.2 试验材料与设备 水神微酸性电解水仪,上海富强旺卫生用品有限公司生产;HI96771 型微电脑双量程余氯浓度测定仪,购自哈纳沃德仪器(北京)有限公司;Thermo 电子分析天平、Thermo 酶标仪,购自郑州金友宁仪器有限公司;JW-1004 型离心机,购自河南春雨生态农业有限公司;立式压力蒸汽灭菌器,上海博迅实业有限公司医疗设备厂生产;SW-CJ-2FD 型超净工作台、DHP-9052 电热恒温培养箱,上海慧泰仪器制造有限公司生产。

1.1.3 微酸性电解水制备 试验配制 1.95 mol/L 稀盐酸溶液,用微酸性电解水仪经过电解得到有效氯质量浓度为 10~30 mg/L、pH 为 5.0~6.5 的微酸性电解水;加水稀释,分别配制出余氯质量浓度为 0.3, 0.5, 0.7 和 1.0 mg/L 的微酸性电解水,现配现用。

1.2 试验设计

选择体质量相近、健康状况良好的 10 日龄罗斯 308 肉鸡 300 只,随机分为 5 组,即对照组(CK)和 A、B、C、D 试验组,每组 3 个重复,每个重复 20 只。对照组正常饮水, A、B、C、D 组分别饮用余氯质量浓度为 0.3, 0.5, 0.7 和 1.0 mg/L 的微酸性电解水,除日常饮水外,其余饲喂、环境等条件均保持一致,按正常免疫程序进行免疫接种。试验期 21 d,分为

预饲期和正饲期,其中预饲期 1 周,正饲期 2 周。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 肠道 pH 试验结束后,禁食 12 h 颈静脉放血处死肉鸡,取出肠道,用无菌棉线结扎,分离出盲肠,并用酒精棉球擦拭各切口和肠道外表面,在无菌条件下挤出肠道内容物于灭菌的烧杯中,按质量比 1∶8 加入去离子水进行稀释,充分混合均匀后,用 pH 计测定肠道内容物的 pH。

1.3.2 肠道微生物 取盲肠内容物 0.5 g 于无菌试管内,加入灭菌生理盐水 4.5 mL,用研磨器研磨 3~5 min,即得 10⁻¹ 稀释液。1 000 r/min 离心 15 min,取上清液 0.5 mL 加入到盛有 4.5 mL 灭菌生理盐水的试管中进行 10⁻² 稀释,并按此方法倍比稀释到 10⁻³~10⁻⁶,用于微生物数量的测定。将适宜稀释倍数的稀释液各 500 μL 接种于麦康凯培养基和 BS 培养基上(各稀释度设 3 个重复),37 ℃ 有氧培养 24 h 后进行菌落计数。采用平板计数法统计细菌数量,菌群数量以每克肠内容物所含细菌群落总数的对数(lg CFU/g)表示^[17]。

1.3.3 免疫器官指数 从 1.3.1 所述的屠宰肉鸡中,取出脾脏、胸腺、法氏囊,剔除周围附着组织,用滤纸吸干水分后称质量,计算免疫器官指数。计算公式为:

免疫器官指数(g/kg)=免疫器官湿质量(g)/宰前空腹活质量(kg)。

1.3.4 免疫细胞因子 试验结束后,禁食 12 h 称质量,颈静脉放血处死,取颈静脉血在室温下放置 2 h 后 1 000 r/min 离心 15 min,取血清。将血清以及鸡 γ 干扰素(IFN-γ)、白细胞介素 2(IL-2)和白细胞介素 4(IL-4)试剂盒中各种试剂提前 30 min 于室温(18~25 ℃)平衡,按照酶联免疫试剂盒说明书中的操作步骤进行标准品稀释及检测。由标准品质量浓度及 OD 值绘制出标准曲线,根据样本 OD 值,由标准曲线查出相应的样本质量浓度。

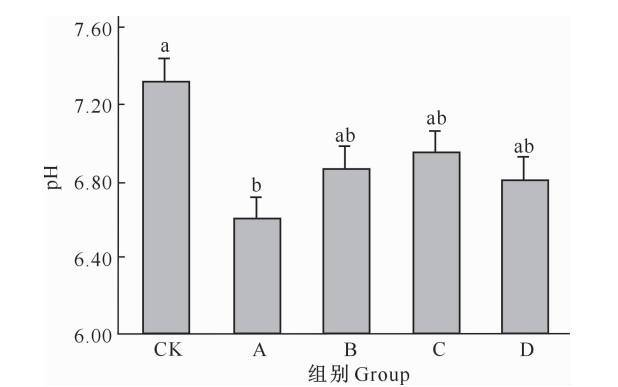
1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 统计软件中的 Anova 模型对试验数据进行单因素方差分析,用 LSD 法进行多重比较。结果以“平均值±标准差”表示,以 $P<0.05$ 作为差异显著判断标准。

2 结果与分析

2.1 饮用微酸性电解水对肉鸡肠道 pH 的影响

饮用微酸性电解水对肉鸡肠道内容物 pH 的影响见图 1。由图 1 可知,A 组肉鸡肠道内容物 pH 较对照组显著降低了 9.84%($P<0.05$),B、C 和 D 组肠道内容物 pH 较对照组均有所降低,但差异不显著($P>0.05$),各试验组之间 pH 均无显著差异($P>0.05$)。



图注上标相同小写字母表示不同处理间差异不显著($P>0.05$),标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Same lowercase letters indicate insignificant difference between groups ($P>0.05$),and different lowercase letters indicate significant difference between groups($P<0.05$)

图 1 饮用微酸性电解水对肉鸡肠道 pH 的影响

Fig.1 Effect of drinking slightly acidic electrolyzed water on intestinal pH of broilers

2.2 饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物的影响

饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物的影响见表 1。

表 1 饮用微酸性电解水对肉鸡肠道微生物的影响

Table 1 Effect of drinking slightly acidic electrolyzed water on intestinal microbes of broilers lg CFU/g

组别 Group	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	沙门氏菌 <i>Salmonella</i>	组别 Group	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	沙门氏菌 <i>Salmonella</i>
CK	8.16±0.30 a	6.31±0.18 a	C	7.22±0.07 bc	5.55±0.26 b
A	7.07±0.11 c	5.42±0.17 b	D	7.31±0.05 bc	5.49±0.46 b
B	7.24±0.11 bc	5.72±0.26 b			

注:同列数据后标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Same lowercase letters indicate insignificant difference between groups ($P>0.05$),and different lowercase letters indicate significant difference between groups($P<0.05$). The same below.

由表 1 可知,各试验组肉鸡肠道大肠杆菌数量 和沙门氏菌数量均显著低于对照组($P<0.05$),而

各试验组之间无显著差异($P>0.05$)。与对照组相比,A、B、C 和 D 组肉鸡肠道大肠杆菌数量分别减少了 13.4%,11.3%,11.5%和 10.4%,其中 A 组大肠杆菌数量最低;A、B、C 和 D 组肉鸡肠道沙门氏菌数量分别减少了 14.1%,9.4%,12.0%和 13.0%,

表 2 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫器官指数的影响

Table 2 Effect of drinking slightly acidic electrolyzed water on immune organ index of broilers				g/kg			
组别 Group	法氏囊指数 Falcone index	脾脏指数 Splenic index	胸腺指数 Thymus index	组别 Group	法氏囊指数 Falcone index	脾脏指数 Splenic index	胸腺指数 Thymus index
CK	0.38±0.02 c	0.93±0.04 b	4.99±0.08 b	C	0.64±0.12 ab	1.34±0.18 a	4.29±0.89 b
A	0.81±0.04 a	1.46±0.19 a	6.11±0.29 a	D	0.59±0.09 b	1.33±0.07 a	4.38±0.71 b
B	0.63±0.13 ab	1.17±0.05 a	4.91±0.65 b				

由表 2 可知,各试验组肉鸡法氏囊指数、脾脏指数均显著高于对照组($P<0.05$),与对照组相比,A、B、C 和 D 组法氏囊指数分别提高了 113%,66%,68%和 55%,脾脏指数分别提高了 57%,26%,44%和 43%,其中均以 A 组肉鸡的法氏囊指数、脾脏指数最高,而 B、C 和 D 组间无显著差异($P>0.05$)。除 A 组外,其余各试验组和对照组胸腺指数均无显著差异($P>0.05$),A 组胸腺指数较对照组显著提高 22%($P<0.05$)。

2.4 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫细胞因子的影响

饮用微酸性电解水对肉鸡 IFN- γ 、IL-2 和 IL-4

表 3 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫细胞因子的影响

Table 3 Effect of drinking slightly acidic electrolyzed water on immune cytokines in broilers				pg/mL			
组别 Group	IFN- γ	IL-2	IL-4	组别 Group	IFN- γ	IL-2	IL-4
CK	152±24 b	0.12±0.03 c	17.89±4.12 c	C	184±18 ab	0.21±0.03 ab	29.05±4.41 a
A	225±26 a	0.29±0.05 a	34.54±1.13 a	D	172±4 b	0.22±0.04 ab	27.21±3.02 b
B	199±19 ab	0.18±0.02 b	28.91±4.72 ab				

3 讨论

3.1 饮用微酸性电解水对肉鸡肠道 pH 和微生物的影响

大肠内的微生物可消化部分营养物质。盲肠 pH 一般为 6.5~7.5,具有消化纤维和吸收含氮物质、水分的功能,是微生物发育的生态环境^[18-19]。胃肠道 pH 的降低,有利于蛋白质分解消化,可改善菌群的适宜生存环境,抑制病原菌生长,促进有益菌增殖^[20-23]。本试验结果表明,饮用余氯质量浓度 0.3 mg/L 的微酸性电解水可显著降低肉鸡盲肠 pH,饮用余氯质量浓度 0.5,0.7 和 1.0 mg/L 的微酸性电解水虽可在一定程度上降低盲肠 pH,但效果不如余氯质量浓度 0.3 mg/L 的微酸性电解水明显。王阳等^[24]研究也发现,在蛋鸡饮水中加入余氯质量浓度为 0.3 mg/L 的微酸性电解水可降低十二指肠、

其中也以 A 组沙门氏菌数量最低。
2.3 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫器官指数的影响

饮用微酸性电解水对肉鸡免疫器官指数的影响见表 2。

质量浓度的影响见表 3。由表 3 可知,各试验组肉鸡 IFN- γ 质量浓度均较对照组有所增加,其中 A 组肉鸡 IFN- γ 质量浓度显著增加 48%($P<0.05$),B、C 和 D 组肉鸡 IFN- γ 质量浓度分别增加 31%,21%和 13%($P>0.05$),但差异不显著。各试验组肉鸡 IL-2 质量浓度均显著高于对照组($P<0.05$),A、B、C 和 D 组肉鸡 IL-2 质量浓度分别较对照组增加 142%,50%,75%和 83%,以 A 组 IL-2 质量浓度最高。各试验组肉鸡 IL-4 质量浓度均显著高于对照组($P<0.05$),A、B、C 和 D 组 IL-4 质量浓度分别较对照组增加 93%,62%,62%和 52%,也以 A 组 IL-4 质量浓度最高。

回肠和空肠 pH,与本研究结果一致。
肉鸡肠道微生物菌群是其消化系统的重要组成部分,其变化会影响肉鸡的免疫功能。大肠杆菌属于消化道的正常菌群,在消化道后段较多,特别是盲肠、直肠最多。在正常情况下对宿主无伤害,但大肠杆菌数量过多时会导致幼畜下痢并发生炎症,发病率和死亡率均较高^[13]。畜禽感染沙门氏菌也可引起相应的传染病,如鸡白痢等,当畜禽因患病、衰弱、营养不良、疲劳导致抵抗力降低时,肠道中的沙门氏菌就可以经肠系膜淋巴结和淋巴组织进入血液,引起全身感染,甚至死亡^[25]。王阳等^[24]研究发现,微酸性电解水可显著减少大肠杆菌数量。本试验也表明,饮用不同余氯水平的微酸性电解水均可显著减少肉鸡肠道大肠杆菌和沙门氏菌数量,改善肉鸡肠道微环境,其中以 0.3 mg/L 的微酸性电解水处理效果最为显著。

3.2 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫器官指数的影响

动物的脏器指数可在一定程度上反映脏器功能的强弱,是重要的生物学特性指标。法氏囊、脾脏、胸腺是禽类发挥免疫功能的重要器官,其指数值是衡量禽类免疫功能的主要指标之一。免疫器官指数的提高,意味着免疫系统成熟较快,在一定程度上可以增强机体的抵抗力^[26-28]。本试验结果表明,饮用微酸性电解水可显著提高肉鸡法氏囊指数和脾脏指数,其中以 0.3 mg/L 的微酸性电解水处理效果最为显著,而且饮用 0.3 mg/L 的微酸性电解水还可以显著提高胸腺指数。

3.3 饮用微酸性电解水对肉鸡免疫细胞因子的影响

细胞因子是免疫细胞产生的一类可以在细胞间传递信息、具有免疫调节和效应功能的小分子蛋白质,能介导和调节免疫及炎症反应^[29-30]。IL-2、IL-4 及 IFN- γ 可以作为评价机体免疫功能的一项重要指标^[31-32]。本试验研究表明,饮用微酸性电解水可显著增加 IL-2 和 IL-4 质量浓度,其中以 0.3 mg/L 的微酸性电解水处理效果最为显著,同时饮用 0.3 mg/L 的微酸性电解水也可以显著增加 IFN- γ 质量浓度。

4 结 论

本试验对比研究饮用不同质量浓度的微酸性电解水与普通自来水对肉鸡肠道微生物、免疫器官指数及免疫细胞因子的影响,结果表明:肉鸡饮用微酸性电解水可降低盲肠 pH,减少肠道大肠杆菌和沙门氏菌数量,改善肠道微环境;有效提高肉鸡法氏囊指数、脾脏指数和胸腺指数,增强机体抵抗力;增加肉鸡 IL-2、IL-4 及 IFN- γ 质量浓度,增强免疫功能。不同处理中,均以饮用 0.3 mg/L 微酸性电解水的效果最为显著,因此余氯质量浓度 0.3 mg/L 微酸性电解水是肉鸡养殖过程中饮用水的最佳选择。

[参考文献]

[1] Cui X, Shang Y, Shi Z, et al. Physicochemical properties and bactericidal efficiency of neutral and acidic electrolyzed water under different storage conditions [J]. J Food Eng, 2009, 91: 582-586.

[2] 姬真真,程 璞,惠 雪,等.微酸性电解水消毒技术在畜禽养殖中的应用研究进展 [J]. 家畜生态学报,2018,39(11):83-86.

Ji Z Z, Cheng P, Hui X, et al. Research progress on slightly a-

cidic electrolyzed water disinfection technology and its application in livestock and poultry farm [J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2018, 39(11): 83-86.

[3] Wang L, Xia Q, Huang P, et al. The application of slightly acidic electrolyzed water as a potential washing agent on shelf life and quality of fresh cut vegetables [J]. Lettuce and Carrot, 2016, 95: 57-61.

[4] Nakano Y, Akamatsu N, Mori T, et al. Sequential washing with electrolyzed alkaline and acidic water effectively removes pathogens from metal surfaces [J]. PLoS One, 2016, 11(5): e0156058.

[5] Hao X X, Li B M, Wang C Y, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water for inactivating microbes in a layer breeding house [J]. Poultry Science, 2013, 92: 2560-2566.

[6] Zheng W C, Ni L, Li B M. Electrolyzed water and its application in animal houses [J]. Frontiers of Architectural Research, 2016, 3(3): 195-205.

[7] 臧一天,李星烁,李保明,等.微酸性电解水对污染轮胎表面的模拟消毒优化 [J]. 农业工程学报,2015,31(20):199-204.

Zang Y T, Li X S, Li B M, et al. Simulation of disinfection optimization of vehicle tire surface using slightly acidic electrolyzed water [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(20): 199-204.

[8] Miyke M, Huang K J. Weak acid hypochlorous solution used for hygienic control in the laboratory animals facilities and the poultry farms [J]. Experimental Animals, 2006, 55(3): 1341-1357.

[9] Bügener E, Kump A W, Casteel M, et al. Benefits of neutral electrolyzed oxidizing water as a drinking water additive for broiler chickens [J]. Poultry Science, 2014, 93: 2320-2326.

[10] Bodas R, Bartolomé D J, De Paz M J T, et al. Electrolyzed water as novel technology to improve hygiene of drinking water for dairy ewes [J]. Research in Veterinary Science, 2013, 95(3): 1169-1170.

[11] 姬真真,石志芳,席 磊,等.电解水消毒对肉鸡舍空气环境质量的影响 [J]. 中国家禽,2018,40(2):30-34.

Ji Z Z, Shi Z F, Xi L, et al. Effect of electrolyzed water disinfection on air environment quality of broiler house [J]. China Poultry, 2018, 40(2): 30-34.

[12] 姬真真,石志芳,范佳英,等.微酸性电解水消毒对肉鸡舍内微粒和微生物的影响 [J]. 中国畜牧杂志,2017,53(3):96-99.

Ji Z Z, Shi Z F, Fan J Y, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water on the disinfection of particulate and microbial in broiler [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2017, 53(3): 96-99.

[13] 张家发.蛋鸡舍饮水系统的电解处理与饮用效果研究 [D]. 北京:中国农业大学,2016.

Zhang J F. Study on effect of electrolytic process and drinking in laying hens' drinking water system [D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.

[14] 王 阳,张家发,胡喜军,等.规模化鸡场饮水系统添加微酸性电解水杀菌效果试验 [J]. 农业工程学报,2017,33(18):230-

- 236.
- Wang Y, Zhang J F, Hu X J, et al. Experiment on bactericidal efficacy in drinking system using slightly acidic electrolyzed water in large-scale poultry houses [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(18): 230-236.
- [15] Inagaki H, Shibata Y, Obata T, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed drinking water on mice [J]. Laboratory Animals, 2011, 45(4): 283-285.
- [16] 臧一天. 微酸性电解水对进入鸡场物品表面消毒方法研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- Zang Y T. Study on methods of slightly acidic electrolyzed water disinfection on facility surfaces entering the poultry farm [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [17] 孙波, 陈静, 吴娟, 等. 黄芪多糖对免疫抑制肉鸡生长性能、肠道菌群及免疫功能的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(8): 101-106.
- Sun B, Chen J, Wu J, et al. Effect of *Astragalus polysaccharin* on growth performance, intestinal microflora and immune function of immunosuppression broilers [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2014, 41(8): 101-106.
- [18] 侯水生, 黄苇. 仔猪日粮酸化机制及其应用 [J]. 中国饲料, 1998(10): 9-11.
- Hou S S, Huang W. Mechanism and application of dietary acidification in piglet [J]. China Feed, 1998(10): 9-11.
- [19] 侯永清, 梁敦素, 丁斌鹰, 等. 早期断奶仔猪日粮中添加不同种类酸化剂的效果 [J]. 中国畜牧杂志, 1996, 32(6): 8-11.
- Hou Y Q, Liang D S, Ding B Y, et al. Effects of adding different kinds of acidifiers into the diet of early weanling piglets [J]. Chinese Journal of Animal Science, 1996, 32(6): 8-11.
- [20] 马红艳. 两种复合酸化剂对肉仔鸡作用效果的研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- Ma H Y. Study on the effect of two acidifiers in broilers [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2006.
- [21] Manzanilla E G, Perez J F, Martin M, et al. Effect of plant extracts and formic acid on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs [J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(11): 3210-3218.
- [22] Agboola A F, Omidwura B R O, Odu O, et al. Effect of organic acid and probiotic on performance and gut morphology in broiler chickens [J]. South African Journal of Animal Science, 2015, 45(5): 494-501.
- [23] Heres L, Engel B, Van K F, et al. Fermented liquid feed reduces susceptibility of broilers for *Salmonella* enteritidis [J]. Poultry Science, 2003, 82(4): 603-611.
- [24] 王阳, 张家发, 李保明. 饮水系统添加微酸性电解水对蛋鸡肠道微生物的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(1): 113-119.
- Wang Y, Zhang J F, Li B M. Study on the effects of slightly acidic electrolyzed water on the intestinal microflora of laying hens [J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(1): 113-119.
- [25] 李庆德, 原志伟, 沈巍. 沙门氏菌的危害及其快速检测方法的研究进展 [J]. 湖北畜牧兽医, 2010(1): 10-12.
- Li Q D, Yuan Z W, Shen W. Research progress on the hazard of *Salmonella* and its rapid detection method [J]. Hubei Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2010(1): 10-12.
- [26] 许金根, 车传燕, 闻爱友, 等. 酸化剂对肉鸡免疫器官指数、肠道 pH 值和血清生化指标的影响 [J]. 饲料工业, 2016, 37(8): 12-15.
- Xu J G, Che C Y, Wen A Y, et al. Effects of acidifier on immune organ indexes, intestinal pH values and serum biochemical indexes of broilers [J]. Feed Industry, 2016, 37(8): 12-15.
- [27] 张少帅, 甄龙, 冯京海, 等. 持续偏热处理对肉仔鸡免疫器官指数、小肠形态结构和黏膜免疫指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(12): 3887-3894.
- Zhang S S, Zhen L, Feng J H, et al. Effects of continuous partial heat treatment on immune organ indexes, small intestinal morphology and mucosal immunity indexes of broiler chickens [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(12): 3887-3894.
- [28] 范慧芬, 谢美娜, 刘家卉, 等. 白花蛇舌草多糖对 AA 鸡免疫器官发育的影响 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2014(8): 19-20.
- Fan H F, Xie M N, Liu J H, et al. Effects of polysaccharide of *Hedyotis diffusa* on the development of immune organs of AA chicken [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2014(8): 19-20.
- [29] 周桂保, 高慧灵, 丁佩娥, 等. 木蹄层孔菌多糖对免疫抑制小鼠免疫功能及细胞因子产生的影响 [J]. 广东药学院学报, 2011, 27(1): 60-64.
- Zhou G B, Gao H L, Ding P E, et al. Effects of *Fomes fomentarius* polysaccharides on immune function and cytokines production of immunosuppressive mice [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2011, 27(1): 60-64.
- [30] 赵天章, 李慧英, 王志刚, 等. 黄芪多糖对肉仔鸡血清免疫细胞因子含量及小肠诱导型一氧化氮合酶 mRNA 表达的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(4): 1011-1018.
- Zhao T Z, Li H Y, Wang Z G, et al. Effects of *Astragalus polysaccharides* on serum immunocyte factor contents and small intestine inducible nitric oxide synthase mRNA expression of broilers [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(4): 1011-1018.
- [31] 毛昱嘉. IL-4 调节人类 $\gamma\delta$ T 细胞抗肿瘤免疫功能的作用机制研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2013.
- Mao Y J. The regulatory effect of IL-4 on the anti-tumor immune response mediated by human $\gamma\delta$ T cell [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2013.
- [32] 夏伦斌, 王新华, 连宏军, 等. γ 干扰素及其在动物疾病防控中的应用 [J]. 动物医学进展, 2007(5): 74-78.
- Xia L B, Wang X H, Lian H J, et al. Progress on IFN- γ and its application in the prevention and control of animal diseases [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2007(5): 74-78.