

沈沾红,王闰利,姜 淦,等. 小气候环境对肉鸡能量代谢的影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2020,48(8):47-52.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.08.008

小气候环境对肉鸡能量代谢的影响研究进展

沈沾红,王闰利,姜 淦,王茹琳,林 珊

(四川省农村经济综合信息中心,四川成都 610072)

摘要:小气候环境与肉鸡的能量代谢息息相关,是影响肉鸡福利、健康以及生产性能的重要因素。针对小气候环境因素对肉鸡能量摄入、产热散热、能量沉积、能量重分配产生的影响进行了总结和分析,以期建立肉鸡舒适小气候环境指标和模型,为科学调控小气候环境提供理论依据。

关键词:小气候环境;肉鸡;能量代谢;采食量;产热;散热;影响

中图分类号:S831;S811.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)08-0047-06

中国肉鸡生产量和消费量居世界第 2 位,肉鸡养殖业已成为中国畜牧业重点发展的产业之一。随着年出栏量超过 5 万只白羽肉鸡、3 万只黄羽肉鸡的规模养殖户成为中国肉鸡生产的主体^[1],肉鸡封闭式、高密度养殖已成常态,肉鸡对鸡舍小环境气候也越来越敏感。小环境气候因素对肉鸡的影响约占总因素的 20%~30%^[2],已成为影响肉鸡健康、生产和福利的关键。

肉鸡能量代谢作为新陈代谢的基础贯穿于整个生命活动的始终,肉鸡健康状态与生产性能的改变首先体现在能量代谢上。当小气候环境发生变化时,肉鸡会通过控制采食来调节能量摄入,通过

改变产热和散热来维持体温恒定,通过改变神经内分泌机能引起糖、脂类、蛋白质等能源物质的代谢改变来调节自身能量的释放、存储利用和重新分配^[3-4],从而实现对环境适应,满足自身生长发育的需要。在诸多小气候环境因素中,温度、湿度、风速、气压、光照等因素对肉鸡能量代谢的影响较大。目前,有关小气候环境因素中温湿度、光照等对肉鸡能量摄入、体温调节、能量存储利用影响的研究已经取得较大进展。总结、分析不同小气候环境下肉鸡能量代谢的变化规律,可以为建立肉鸡适宜的小气候环境气象指标体系和舒适的小气候环境模型提供理论依据,也能为科学调控小气候环境指标提供参考。

1 小气候环境对肉鸡能量摄入的影响

肉鸡摄入能量的目的是满足自身需要,小气候环境的改变影响肉鸡能量需要,通过对采食量、采食行为的调节最终影响能量摄入。

1.1 对肉鸡能量需要的影响

肉鸡的能量需要包括机体维持需要和生长需

收稿日期:2019-03-15

基金项目:2018 年“三农”服务专项资金;2018 年高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金项目(编号:省重点实验室 2018-重点-05-07)。

作者简介:沈沾红(1982—),女,四川泸州人,硕士,工程师,从事农业气象服务和信息管理工作。Tel:(028)87360982;E-mail:friend19821203@163.com。

通信作者:姜 淦,硕士,工程师,主要从事为农气象服务和信息管理工作。E-mail:jianggan520@163.com。

[56] 罗新宇,田维恩,陆承相. 乐业县种植猕猴桃的气象病害防治及栽培技术要点[J]. 气象研究与应用,2012,33(增刊1):190-191.

[57] 张 明,李艳莉,贺文丽,等. 秦岭北麓猕猴桃夏季高温热害分析及防御对策[J]. 陕西气象,2011(3):35-36.

[58] 屈振江,柏秦凤,梁 轶,等. 气候变化对陕西猕猴桃主要气象灾害风险的影响预估[J]. 果树学报,2014,31(5):873-878,3.

[59] 马松涛,宋晓斌,张学武,等. 猕猴桃花果病害研究现状及趋势[J]. 西北林学院学报,2000,15(3):86-90.

[60] 胡晓红. 六盘水地区影响猕猴桃生长的气候条件分析[J]. 现

代农业科技,2008(11):10-11,13.

[61] 张毅军,雷 雯,李建军. 眉县猕猴桃溃疡病气象条件分析与预报模式研究[J]. 陕西气象,2017(6):14-17.

[62] 姜景魁. 猕猴桃花腐病的发生及其防治[J]. 福建果树,1995(3):20-21.

[63] 冷云星,吴文能,王 瑞. 猕猴桃软腐病的发生及防治研究进展[J]. 贵州农业科学,2016,44(9):56-59.

[64] 张 毅,徐 进,贾 晖,等. 西安地区猕猴桃溃疡病的发生与防治[J]. 河北果树,2011(2):46-47.

[65] 张学武,韩建君,宋晓斌,等. 猕猴桃根腐病发生规律及其防治技术研究[J]. 西北林学院学报,2004,24(4):42-44.

要。肉鸡在健康情况、活动范围、体热散失、能量分配等方面会优先满足维持需要,然后是生长需要。

小气候环境温度对肉鸡能量需要的影响至关重要,主要针对维持能量需要,而生长能量需要与温度无关。肉鸡维持能量需要随温度变化而变化,2℃时能量需要是35℃时的2倍,但这种变化往往是曲线变化而非线性变化。研究显示,低温下肉鸡维持能量需要随着温度的升高而缓慢下降,当温度处于24~28℃时,维持能量需要最低,温度超过28℃后,维持能量需要逐渐上升^[5]。湿度对肉鸡维持能量需要有一定影响,湿度为60%~70%时,肉鸡维持能量需要最低,过低或者过高都会增加维持能量需要。研究显示,35℃下,5~8周龄肉鸡在相对湿度为60%~65%时,每天维持能量需要为5 388 kJ,而相对湿度降低或升高10%时,维持能量需要增加幅度较大,分别为6 280、6 008 kJ/d,而湿度降低为40%~45%时,维持能量需要增加的幅度较小,为5 903 kJ/d^[6]。另外光照中的光色可以通过调节肉鸡运动量来改变维持需要。蓝、绿光可以使肉鸡迅速安静下来,活动量变小,降低维持需要;红光会引起肉鸡啄羽、打斗,增加觅食和站立行为,黄光会促使肉鸡运动量加大,维持能量需要升高^[7-8]。在一定光照度范围内,肉鸡的活跃性与光照度呈正相关,光照度越低,其攻击性、啄癖等行为相应减少^[9],维持能量需要降低。

1.2 对肉鸡采食量的影响

肉鸡的能量摄入与采食行为密切相关,小气候环境发生改变会影响肉鸡下丘脑中枢神经系统,改变促进食欲因子的分泌,影响肉鸡饿感和饱感的产生与采食行为,最终导致肉鸡采食量发生改变。

小气候环境温度对肉鸡采食量影响较大,肉鸡的等热范围为16~26℃,低于16℃或者高于26℃,肉鸡能量代谢水平发生改变,采食量随之改变。随着温度的升高,肉鸡采食量呈逐渐下降趋势,Collin等试验表明,7日龄肉鸡在31℃下的采食量要显著低于在20℃下的采食量^[10]。Howlider等总结资料得出,肉鸡采食量 y 与温度 x 的关系为: $y = 105.52 + 0.74(\pm 0.227)x - 0.05(\pm 0.0005)x^2$,二者呈曲线相关关系,随着温度的升高,采食量下降幅度也逐渐加大^[11]。高温时(超过30℃)采食量的下降可能与热应激条件下肉鸡抑制食欲因子阿黑皮质素原 POMC/ α 分泌增强,而促进采食因子神经肽 Y、刺鼠相关蛋白(AgRP)的分泌减弱^[12]和肉

鸡十二指肠、空肠胆囊收缩素(CCK)基因表达减少有关;而低温时(低于10℃)冷应激会促进肉鸡下丘脑一磷酸腺苷激活的蛋白激酶(AMPK)mRNA表达^[13],促进采食因子神经肽 Y 分泌,增加采食量。

肉鸡采食量与湿度密切相关,湿度为60%~70%时肉鸡生长环境最为舒适,大于80%的高湿和小于40%的低湿均会引起肉鸡采食量降低。魏凤仙等研究发现,22~42日龄肉鸡采食量在相对湿度为35%和85%下均比对照组(相对湿度60%)低,其中85%高湿组采食量和体质量下降更显著^[14]。湿度往往与温度共同作用对采食量产生影响,特别在肉鸡生长初期,高温下较低的湿度会加快肉鸡体内水分蒸发,使肉鸡易渴,加大饮水量而减少采食量,而高温下湿度过高会导致肉鸡的蒸发散热受阻,加重热应激影响而大大降低肉鸡采食量。顾宪红等发现,在32℃高温条件下,4~5周龄的肉鸡在相对湿度为90%时的采食量显著低于相对湿度为60%、30%时,且随着肉鸡日龄的增加,高温对采食量影响增大,而高湿对肉鸡采食量影响减小^[15]。此外,风速也能影响肉鸡采食量,特别是高温情况下,适宜的风速可以促进肉鸡蒸发散热,减小热应激,提高肉鸡采食量,但超过一定风速后采食量会降低。Yahav等发现,35℃下,风速为2 m/s时肉鸡采食量显著高于风速为0.8、1.5、2.5 m/s时,而风速超过3 m/s时,肉鸡采食量会显著下降^[16]。

光照时长会影响肉鸡采食量和采食行为,研究表明,0~21日龄肉鸡在12 h或12 h以上的光照环境下采食量呈线性增加趋势,光照每延长1 h采食量大约增加15 g,而22~49日龄肉鸡采用12 h或更大时长光照,采食量无显著差异^[17]。赵芙蓉等发现,采用光—暗周期为16 h—8 h的长光照制度比8 h—16 h短光照周期更能增加北京油鸡雏鸡采食的时长和次数,增加肉鸡采食量,而低光照时长会使肉鸡采食量下降,原因可能是短时光照降低了肉鸡活动性^[18]。另外,光照度变化会改变肉鸡采食量。低光照度会减少幼龄肉鸡采食量,而对于49日龄肉鸡,光照度从1 lx增至100 lx,其平均日采食量呈现30 g的强烈下降趋势^[17]。不同的光色对肉鸡采食有一定的影响,对0~5周龄肉鸡采用短波长的蓝光、绿光、黄光照射时,肉鸡的采食量显著高于白炽灯光,体增质量也有一定改善,其中黄光能刺激肉鸡采食和运动,对增加采食量和体质量效果最佳^[19]。

气压中,氧分压对肉鸡采食量影响较大。高海拔地区气压低,氧分压低,动物延长食欲肽 A 和 B mRNA 表达减弱,下丘脑组织中食欲肽含量降低,使动物食欲受到抑制,生长激素释放量减少^[20],降低采食量,抑制生长。Li 等研究发现,饲养在西藏林芝地区(海拔 2 986 m)14、28、42 日龄肉鸡的采食量和体质量显著低于低海拔地区^[21]。采取增加氧含量的措施能有效提高高原地区肉鸡采食量,改善其生产性能,降低死亡率。王利红发现,海拔高度为 2 968 m 时,0~14 日龄肉鸡增氧组(氧浓度 25.8%~26.5%)平均日采食量和体增质量显著高于低氧组(氧浓度 20.7%~21.4%),肉鸡免疫机能和肠道发育显著提高,肉鸡生产性能和死亡率得到有效改善^[22]。

2 小气候环境对肉鸡产热、散热的影响

肉鸡是恒温动物,能量代谢的一个重要方面就是维持自身体温恒定。小气候环境发生变化时,肉鸡的产热和散热随之改变,肉鸡在不断平衡产热和散热的过程中保持体温恒定。肉鸡产热分为显热和潜热 2 种,显热表现为机体体温升高,潜热则为蒸发散热,中性温度(20~25℃)下以升高皮温的可感散热为主,高温下过渡到以热喘息为主的蒸发散热。

小气候环境的温度变化对潜热和显热在总产热中的比例影响较大。王新颖发现,温度由 12℃升高到 36℃时,肉鸡显热量和显热比例逐渐下降,潜热比例逐渐上升,高温时潜热量(蒸发散热量)几乎可以完全占据总产热量^[23]。而温度与肉鸡总产热量表现为曲线关系而非线性关系。研究表明,温度从 16℃上升到 28℃时,15 日龄肉鸡产热量逐渐下降,在 28~31℃时降至波谷,产热量最低,当温度大于 31℃时产热量又快速升高^[24]。原因一方面是肉鸡可以通过改变采食量来调节产热量,低温时肉鸡通过提高采食量增加产热量,而高温时肉鸡会抑制采食以减少热量产生,从而实现自身体温恒定^[3]。但当环境温度升高到一定程度(超过 31℃)产生热应激后,肉鸡将不能通过调节采食量来控制产热,只能通过热喘息来加大蒸发散热量,增加肌肉运动引起产热量集聚上升。另一方面,肉鸡长期处于低温环境下时,血浆中肾上腺皮质激素(ACTH)分泌量增加,能提高糖皮质激素和皮质酮的合成分泌,进一步刺激免疫应答反应,提高机体产热。低温可以刺激甲状腺激素的分泌,增加甲状

腺素 T3 含量,促进产热增多^[25];而高温会使交感神经系统激活,增加肾上腺素、去甲肾上腺素的分泌释放^[5],加大肉鸡氧气消耗量,促进体内能源物质氧化分解,增加产热量。

小气候环境的湿度对肉鸡产热和散热的影响常常与温度有关。低温环境下高湿会增加空气导热性和热容量,从而加大肉鸡可感散热^[3]。适宜温度下湿度对肉鸡可感散热的影响不显著,Yahav 发现,28℃和 30℃下,4~8 周龄肉鸡在相对湿度从 40%增加到 75%时均能保持正常体温,肉鸡体表和体核温度随湿度变化改变不显著^[26]。而适宜温度(20~30℃)下,湿度会影响肉鸡潜热比例,在不考虑温度影响情况下,相对湿度从 95%降到 20%时,肉鸡的潜热量比例从 40%增加到 85%,其变化大致呈一定的线性趋势^[23]。高温下湿度对肉鸡体温影响显著,研究发现,温度高时,高湿会使肉鸡呼吸频率增加,腿部、鸡冠部皮温和体核温度显著升高^[27-28],原因可能是高温时高湿抑制肉鸡蒸发散热,导致皮温与体温升高。高温低湿下,肉鸡蒸发散热增强,体温降低,但肉鸡容易脱水,不利于健康生长。另外,湿度还对肉鸡热量分配有一定影响。Lin 等发现,在 35℃下,相对湿度为 85%时,肉鸡在背部、腹部温度要显著高于 35%和 60%时相同部位温度,同时大于 60%的湿度使肉鸡体核到皮肤的热量传递效率降低,直肠温度升高^[29]。

小气候环境的风速可影响肉鸡的产热量。研究发现,当风速提高时,肉鸡总产热量升高,显热、潜热量不断上升^[30]。高温条件下,风速对肉鸡散热影响显著,风速提高能加大显热量释放能力,有效降低体温。调查表明,肉鸡体温在风速为 0.1 m/s 时要比 2.5 m/s 时升高 1~2℃^[23],原因可能是风速促进空气蒸发和对流。另外,高温时适宜的风速可以提高肉鸡采食量,促进体温恒定。研究表明,35℃时,肉鸡体温在 2 m/s 的风速下最低,过高或过低的风速都会使体温增加,而高风速增加体温的原因尚不明确^[16]。

小气候环境的光照对肉鸡产热量影响较大。白天肉鸡产热量要比平均值高 20%,而夜间产热量比平均值要低 20%。对于补充外源光照的肉鸡而言,停止光照,总产热量会降低 25%,这主要是由于长时间光照增加了采食量和活动量,进而增加了产热量^[31]。另外,光照度变化也影响肉鸡产热。Aerts 等用紧凑动态模型结构模拟了温度和光照度渐变

时肉鸡产热的动态和静态反应,经过 250 次试验发现,随着环境温度升高,光照度越低肉鸡产热量越小,而光照度越高肉鸡产热越多^[32]。

3 小气候环境对肉鸡能量沉积的影响

肉鸡摄入饲料后,营养物质在体内被消化、吸收、利用,能量最终以脂肪、蛋白质、糖原等的形式沉积于体内。小气候环境发生变化导致机体对能量需求发生改变,营养物质发生再分配,用于生产(生长)和生存的能量随之变化。

小气候环境温度对肉鸡能量沉积影响显著。总体来说,高温对肉鸡脂肪的影响是促进合成、抑制分解,使脂肪沉积和腹脂率增加;对蛋白质的影响是刺激氨基酸分解,使蛋白质沉积下降。低温环境中,肉鸡通过提高分解代谢来增加机体对能量物质的消耗,降低脂肪沉积。研究发现,适宜温度下(21~29℃),温度每降低 1℃,肉鸡体脂、腹脂沉积分别减少 0.8%、1.6%,脂肪形式能量沉积与蛋白质形式能量沉积比值是正常情况下的 2 倍^[33]。de Souza 等发现,高温应激下肉鸡代谢能摄入量增加,能量保持率和能量利用率下降,同时蛋白质消化率和氮利用率降低,氮排出量增加,蛋白质沉积减少^[34]。研究显示,高温下不同肌肉中蛋白质沉积减少的方式也不相同,在胸肌中主要表现为蛋白质合成减少,而在腿肌中则以蛋白质的分解增加为主^[35]。Yunianto 等研究表明,低温冷应激下肉鸡为保持体温恒定,需要动用大量能源物质产热,导致脂肪沉积率大大降低,蛋白质降解增多,体质量减少;而小气候环境中湿度通常作为温度的辅助因素,能加强温度对能量沉积的影响^[24]。在高温条件下,高湿使肉鸡维持需要增加,大量消耗葡萄糖,使得骨骼肌摄取能量不足,肌肉蛋白质合成受到抑制,蛋白质沉积下降^[36];而高温下不管是高湿(相对湿度 80%)还是低湿(相对湿度 35%),都会使肉鸡总胆固醇、甘油三酯水平显著升高^[36],脂类分解减少,脂肪沉积增加。

小气候环境光照对肉鸡能量沉积也有较大影响。Yang 等发现,光照时长以 2 h 为幅度从 12 h 增加到 22 h 时,肉鸡腹脂质量 Y 与光照时长 h 呈二次曲线关系,表达式为 $Y = -0.239 6h^2 + 9.972 8h - 64.329$;在光照 20 h 时腹脂质量最高,增加和减少光照时长均会降低肉鸡腹脂质量^[37]。杨琳等在研究光照方式改变对石岐杂黄羽肉公鸡的影响时发现,间歇光照

能提高 41~82 日龄肉鸡代谢能、沉积能和能量沉积效率,有效增加脂肪和蛋白质沉积,且在光—暗周期为 2 h—2 h 光照制度下能量沉积率表现最佳^[38]。Buyse 等发现,间歇光照组肉鸡体质量与连续光照组相比增大,饲料转化效率和日粮中氮的利用率提高,干物质排泄量降低,蛋白质沉积增加^[39]。另外,单色绿光刺激比单色蓝光刺激更能提高高密度脂蛋白胆固醇浓度,绿/蓝组合发光二极管(LED)光照可显著提升肉鸡血糖浓度,提高胸肌率和能量沉积^[40]。在低光照度下,肉鸡血液氨基酸含量、乳腺肌肉中蛋白质沉积升高,肌肉中糖原沉积增加,且在 45 日龄时沉积效果最理想^[41]。

4 小气候环境对肉鸡能量重分配的影响

小气候环境变化可使肉鸡能量消耗和机体能量储备发生改变,高温(30℃以上)和低温(10℃以下)都使肉鸡能量消耗增加,机体能量储备降低^[42],从而影响肉鸡体内能量重新分配。小气候环境因素对肉鸡体内能量重新分配的影响主要通过对糖代谢、脂肪沉积和蛋白质代谢的改变来实现。

葡萄糖是肉鸡体内直接能源物质,在正常生命活动、健康、生产等方面发挥着重要作用。小气候环境因素的改变会影响肉鸡骨骼肌对葡萄糖的摄取与利用,实现能量重分配。高温会激活肉鸡下丘脑—垂体—肾上腺皮质反应轴,刺激糖皮质激素和胰岛素大量释放,而糖皮质激素升高会降低胰岛素敏感性,使胰岛素信号通路受到抑制,降低葡萄糖转运蛋白 1 的表达量,抑制骨骼肌对葡萄糖的吸收,减少葡萄糖摄取率和糖原合成率^[43]。而在低温环境下,与调节产热相关的转录辅助活化因子 PGC-1 α 的表达量增加^[44],肉鸡糖原分解增强,葡萄糖氧化水平提高,能量消耗加大,更多的糖用于维持体温。另外,小气候环境变化也改变肉鸡肝脏对葡萄糖的利用。研究表明,高温下大量的糖皮质激素、胰岛素会显著提高肉鸡肝脏脂肪酸合成酶(FAS)和乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)基因的表达量和活性,促进肝脏利用葡萄糖合成脂肪。

肉鸡的脂肪合成几乎全部在肝脏中进行,小气候环境因素的改变会影响肉鸡肝脏脂肪酸合成,改变脂肪组织中脂肪沉积,影响能量重分配。高温下胰岛素和糖皮质激素共同作用,激活肝脏 X 受体 α 与固醇调节元件结合蛋白,增强脂肪合成关键酶在肝脏中的表达和活性,促进肝脏脂肪酸合成,而糖

皮质激素还通过胰岛素的作用,提高脂蛋白脂酶在脂肪组织中的活性^[45],增加肝脏脂肪酸在脂肪组织中的沉积。低温应激下,肉鸡磷酸腺苷依赖性蛋白激酶 α 蛋白表达量升高,脂肪氧化量增加,脂肪合成关键酶 ACC 表达量减少,脂肪组织中脂肪沉积显著降低^[46]。磷酸化腺苷酸活化蛋白激酶 (pAMPK) 和反应元件结合蛋白 (pCREB) 能诱导激素敏感性脂肪酶磷酸化,降低脂肪分解。研究表明,光照持续时间与 pCREB、pAMPK 水平呈负相关,长时间光照能增加脂肪组织中的脂肪沉积^[37]。每天服用褪黑素可抑制腹部脂肪沉积和血浆瘦素水平,长期光照会导致夜间褪黑激素减少,增加内脏脂肪沉积^[47]。此外,小气候环境变化也改变肉鸡骨骼肌对脂肪酸的氧化利用。高温应激下,大量释放的糖皮质激素会抑制 AMPK 通路,而增强哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mTOR) 信号通路,提高骨骼肌对脂肪酸获取效率,减少脂肪酸在骨骼肌中的氧化利用率,从而增加脂肪在骨骼肌中沉积,同时糖皮质激素还会降低脂肪酸不饱和度,提高脂肪沉积能力^[48]。

肉鸡蛋白质代谢与生长密切相关,小气候环境因素的改变会影响肉鸡骨骼肌中蛋白质的合成与分解,从而改变机体能量重分配。肉鸡胰岛素样生长因子 1 (IGF-1) 能提高体内氨基酸转运效率,增加蛋白质合成,减少分解量。高温应激会提高糖皮质激素释放量,抑制 IGF-1 分泌^[49],间接抑制骨骼肌蛋白质合成,促进骨骼肌蛋白质分解,高湿会增加这种效应,导致骨骼肌摄取能量不足,加重骨骼肌蛋白质合成抑制作用。而用绿光刺激会提高肉鸡 IGF-1 水平,促进骨骼肌蛋白质合成^[50],长时光照会提高肉鸡甲状腺素 T4 含量,增加基础代谢率,刺激细胞合成蛋白质^[37]。

4 小结

小气候环境与肉鸡的能量代谢息息相关。肉鸡作为恒温动物,在小气候环境发生变化时,机体体温调节随之改变,能量摄入、利用、沉积和重分配都在不断变化,极大地影响肉鸡健康、生长性能以及福利。加大对产热、散热、体温等产生剧烈影响的小气候环境因素的研究,将有利于肉鸡舒适气象环境指标的确定,更能为改善动物福利提供理论基础。而探索不同小气候环境造成肉鸡应激反应的机理及寻找有效的解决方案,将有利于缓解肉鸡应激反应,为充分发挥肉鸡生产潜力、提高畜产品品

质贡献力量。

参考文献:

- [1] 宫桂芬. 中国家禽生产现状及发展趋势[J]. 兽医导刊, 2016 (1): 5-6.
- [2] 连京华, 李惠敏, 孙凯, 等. 浅谈禽舍内环境监控的重要指标及其适宜范围[J]. 家禽科学, 2014 (3): 18-19.
- [3] 常玉, 冯京海, 张敏红. 环境温度、湿度等因素对家禽体温调节的影响及评估模型[J]. 动物营养学报, 2015, 27 (5): 1341-1347.
- [4] 陆壮, 何晓芳, 张林, 等. 环境温湿度对肉鸡营养物质代谢的影响及调控机制[J]. 动物营养学报, 2017, 29 (9): 3021-3026.
- [5] 王启军. 高温环境对不同生长阶段北京油鸡脂肪沉积及脂质代谢的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [6] 孙永波. 湿度对肉鸡生长性能、免疫功能及呼吸道黏膜屏障的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [7] Senaratna D, Samarakone T S, Gunawardane W W D A. Preference for different intensities of red light as affected by the age, temporal variation and behavior of broiler birds[J]. Trop Agri Res, 2014, 25 (2): 146-157.
- [8] Rozenboim I, Biran I, Uni Z, et al. The effect of monochromatic light on broiler growth and development[J]. Poultry Science, 1999, 78 (1): 135-138.
- [9] Olanrewaju H A, Thaxton J P, Iii W A D, et al. A review of lighting programs for broiler production[J]. International Journal of Poultry Science, 2006, 5 (4): 301-308.
- [10] Collin A, Buyes J, Vanas P, et al. Cold-induced enhancement of avian uncoupling protein expression, heat production, and triiodothyronine concentration in broiler chicks[J]. General and Comparative Endocrinology, 2003, 130 (1): 70-77.
- [11] Howlader M A R, Rose S P. Temperature and the growth broilers[J]. World's Poultry Science, 1987, 43: 228-237.
- [12] 何晓芳, 陆壮, 张林, 等. 温热环境因子影响肉鸡采食的调控机制[J]. 动物营养学报, 2017, 29 (9): 3027-3034.
- [13] Richards M P, Proszkowiec, Weglarz M. Mechanisms regulating feed intake, energy expenditure, and body weight in poultry[J]. Poultry Science, 2007, 86 (7): 1478-1490.
- [14] 魏凤仙, 胡晓飞, 李绍钰, 等. 慢性湿度应激对肉仔鸡生产性能及血液生理生化指标的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42 (10): 137-141.
- [15] 顾宪红, 杜荣. 高温条件下湿度对肉仔鸡耗料量耗水量及生产性能的影响[J]. 家畜生态, 1998, 19 (1): 1-5.
- [16] Yahav S, Ruzal M, Shinder D. The effect of ventilation on performance body and surface temperature of young turkeys[J]. Poultry Science, 2008, 87 (1): 133-137.
- [17] Lewis P D, 赵晓芳. 光照对家禽生长和饲料利用率的影响[J]. 国外畜牧学 (猪与禽), 2008, 28 (3): 22-24.
- [18] 赵芙蓉, 耿爱莲, 焦伟伟, 等. 光周期对北京油鸡雏鸡采食行为与生长性能的影响[J]. 中国家禽, 2012, 34 (15): 25-28.
- [19] Kim M J, Paryin R, Mushtaq M M H, et al. Growth performance and hematological traits of broiler chickens reared under assorted

- monochromatic light sources[J]. Poultry Science, 2013, 92(6): 1461–1466.
- [20] Zhang Y S, Du J Z. The response of growth hormone and prolactin of rats to hypoxia[J]. Nauru Sciences Letters, 2000, 279: 137–140.
- [21] Li L, Wang H H, Zhao X. Effects of Rhodiola on production, health and gut development of broilers reared at high altitude in Tibet[J]. Sic Rep, 2014, 24(4): 7166.
- [22] 王利红. 氧浓度和益生菌对高海拔地区肉鸡的影响及益生菌缓解仔鸡沙门氏菌性肠炎的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [23] 王新颖. 舍饲环境下肉鸡产热产湿量研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [24] Yunianto V D, Hayashit K, Kaiwda S. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens[J]. British Journal of Nutrition, 1997, 77(6): 897–909.
- [25] Wang J S, Wei Y H, Wang D Z, et al. Proteomic study of the effects of complex environmental stresses in the livers of goldfish (*Carassius auratus*) that inhabit Gaobeidian Lake in Beijing, China[J]. Ecotoxicology, 2008, 17(3): 213–220.
- [26] Yahav S. Relative humidity at moderate ambient temperatures: its effect on male broiler chickens and turkeys[J]. British Poultry Science, 2000, 41(1): 94–100.
- [27] 周莹, 彭莺莺, 张敏红, 等. 相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(12): 3726–3735.
- [28] 李香, 史龙飞, 高晓艺, 等. 相对湿度对急性偏热处理肉鸡行为、生理、糖脂代谢的影响[J]. 中国家禽, 2018, 40(7): 37–40.
- [29] Lin H, Zhang H F, Du R, et al. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. II. Four weeks of age[J]. Poultry Science, 2005, 84(8): 1173–1178.
- [30] Sevegnani K B M, Macari. Broiler response to different wind speeds[C]//ASAE Annual International Meeting papers, 2000.
- [31] Pedesren S. Heat and moisture production for cattle and poultry on animal and housing level[C]// ASAE Annual International Meeting papers, 2002: 124179.
- [32] Aesrt J M, Berckman D, Saevel P. Quantification of dynamic and static responses of total heat production of broiler chickens to temperature and light intensity[C]// ASAE annual international meeting papers, 1999.
- [33] Geraert P A, Padilha J C F, Guillaumin S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention[J]. British Journal of Nutrition, 1996, 75: 195–204.
- [34] de Souza L F A, Espinha L P, Alves E, et al. How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in broilers[J]. Livestock Science, 2016, 192: 39–43.
- [35] Zuo J J, Xu M, Abdullah Y A, et al. Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(2): 429–436.
- [36] Yahav S. Relative humidity at moderate ambient temperatures: Its effect on male broiler chickens and turkeys[J]. British Poultry Science, 2010, 41(1): 94–100.
- [37] Yang Y F, Yu Y H, Yang B, et al. Physiological responses to daily light exposure[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 24808.
- [38] 杨琳, Minaingar M, 傅伟龙, 等. 不同光照制度对黄羽肉鸡生长性能及能量沉积的影响[J]. 家畜生态学报, 1999, 20(4): 17–24.
- [39] Buyse J, Simons P C M, Boshouwers F M G, et al. Effect of intermittent lighting, light intensity and source on the performance and welfare of broilers[J]. World's Poultry Science Journal, 1996, 52(2): 121–130.
- [40] Yang Y F, Yu Y H, Pan J M, et al. A new method to manipulate broiler chicken growth and metabolism: response to mixed LED light system[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 25972.
- [41] Stoianov P, Georgiev G A. Effect of lighting intensity on protein metabolic indices in broilers[J]. Vet Med Nauki, 1981, 18(10): 22–27.
- [42] Xu M, Yu X Y, Li J L, et al. Effects of acute and chronic cold stress on antioxidant function in intestinal tracts of chickens[J]. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 2012, 19(2): 54–61.
- [43] Zhao J P, Lin H, Jiao H C, et al. Corticosterone suppresses insulin- and NO-stimulated muscle glucose uptake in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2009, 149(3): 448–454.
- [44] 胡小磊, 石建华, 项平. PGC-1 α 和能量代谢的关系[J]. 蚌埠医学院学报, 2008, 33(2): 248–251.
- [45] Cai Y L, Song Z G, Wang X J, et al. Dexamethasone-induced hepatic lipogenesis is insulin dependent in chickens (*Gallus gallus domesticus*) [J]. Stress, 2011, 14(3): 273–281.
- [46] Zhang Z W, Bi M Y, Yao H D, et al. Effect of cold stress on expression of AMPK α -PPAR α pathway and inflammation genes[J]. Avian Diseases, 2016, 58(3): 415–426.
- [47] Wideman C H, Murphy H M. Constant light induces alterations in melatonin levels, food intake, feed efficiency, visceral adiposity, and circadian rhythms in rats[J]. Nutritional Neuroscience, 2009(12): 233–240.
- [48] 王晓鹃. 糖皮质激素影响肉仔鸡骨骼肌脂肪代谢的机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [49] Zuo J J, Xu M, Abdullahi Y A, et al. Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(2): 429–436.
- [50] Stoianov P, Bakov B D, Georgiev G A. Effect of fluorescent lighting on the growth of broiler chickens[J]. Vet - Medi Nauki, 1978, 15(3): 89–95.