

升温环境下肉鸡体温和呼吸频率对热中性区上限温度估测

杨语嫣, 王雪洁, 张敏红, 冯京海

(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)

摘要: 【目的】通过非线性分段回归模型, 分析随环境温度逐渐升高, 肉鸡体表、体核温度和呼吸频率开始升高时的环境温度, 即拐点温度 (IPT), 估测肉鸡热中性区、热舒适区的上限温度。【方法】试验选择 21 日龄 AA 肉鸡 10 只, 饲养于人工环境控制舱内。舱内温度由 18℃ 开始, 每 0.5 h 升高 1℃, 至 33℃ 维持 0.5 h 后, 逐渐降至 20℃, 循环 3 d。利用微型温度记录仪连续监测肉鸡体表和体核温度 (每 10min 记录 1 次)。【结果】经非线性分段回归分析, 3 次 (天) 估测出的肉鸡体表温度的拐点温度 (IPT_{ST}) 分别为 21.18、21.09、21.13℃, 平均 21.13℃。肉鸡 IPT_{ST} 个体之间的变异较大, 3 次测定的变异系数分别为 6.31、6.15、5.64; 而同一只肉鸡 3 次估测的 IPT_{ST} 差别较小, 10 只鸡的变异系数平均为 0.52, 表明这种估测 IPT_{ST} 的方法重复性较好。肉鸡体核温度的拐点温度 (IPT_{CT}) 3 次测定的结果分别为 27.80、27.98、27.67℃, 平均 27.82℃。个体之间 IPT_{CT} 的变异系数为 2.82、2.75、2.78, 而同只肉鸡 3 次估测的 IPT_{CT} 变异较小, 平均变异系数为 0.90, 表明这种估测 IPT_{CT} 的方法重复性较好。肉鸡呼吸频率的拐点温度 (IPT_{RR}) 3 次测定的结果分别为 28.42、29.52、29.25℃, 平均 29.06℃。由于肉鸡在高温环境下喘息并非持续发生, 本试验呼吸频率的测定时间过短 (每个温度下每只鸡测定了 1 min), 造成部分肉鸡测定的呼吸频率过低, 导致估测的 IPT_{RR} 偏高。【结论】根据热中性区的定义, 3—4 周龄肉鸡热舒适区上限温度即为 IPT_{ST} (21.13℃), 而热中性区上限温度应低于 IPT_{CT} (27.82℃)。

关键词: 肉鸡; 体温; 呼吸频率; 拐点温度; 连续升温

The Upper Limit Temperature of Thermoneutral Zone Estimated by the Changes of Temperature and Respiration Rate of the Broilers

YANG YuYan, WANG XueJie, ZHANG MinHong, FENG JingHai

(Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Animal Nutrition, Beijing 100193)

Abstract: 【Objective】The present study was conducted to measure the variations of surface temperature (ST), core temperature (CT) and respiratory rate (RR) of broilers with increasing ambient temperature (AT), and analyze these data with a broken-line model to determine the inflection point temperature (IPT, the certain AT above which the body temperature or RR of the broilers started to change). 【Method】Ten AA broilers (21 days old) were raised in one controlled climate chamber. The AT of chamber was increased gradually by one degree per 0.5 h from 18℃ to 33℃, and then gradually decreased to 20℃. The CT and ST of broilers, as well as the AT in the chamber were recorded at 10 min intervals using mini temperature data loggers. The experiment was repeated three times on three days. 【Result】The IPT based on ST (IPT_{ST}) for three consecutive days were 21.18, 21.09 and 21.13℃, average 21.13℃. The variation coefficients of IPT_{ST} between individual broilers was 6.13, 6.15 and 5.64 for three measurements, the variation coefficient of IPT_{ST} between three measurements was 0.52% on average, indicating that the method of estimating IPT_{ST} was better repeatable. The IPT based on CT (IPT_{CT}) for three consecutive days were 27.80, 27.98 and 27.67℃, with an average of 27.82℃. The variation coefficients of IPT_{CT} between individual broilers was 2.82, 2.75, 2.78 for three measurements, the variation coefficient of IPT_{CT} between three measurements was 0.90% on average, indicating that the method of estimating IPT_{CT}

收稿日期: 2018-06-07; 接受日期: 2018-12-19

基金项目: 国家重点研究发展计划 (2016YFD0500509); 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-IAS07)

联系方式: 杨语嫣, E-mail: 279894273@qq.com。通信作者冯京海, E-mail: fjh6289@126.com

was better repeatable. The IPT based on RR (IPT_{RR}) for three consecutive days were 28.42, 29.52 and 29.25°C, with an average of 29.06°C. Since the panting of broilers is intermittent, the respiratory of broilers under high temperature maybe normal during the period of RR measurement (only 1 min per chick), which maybe result in an under-estimated the RR, and an over-estimated IPT_{RR} of some broilers. 【Conclusion】 According to the definition of the thermal neutral zone, the upper limit temperature of the thermal neutral zone of 3-4 weeks old broilers should be lower than IPT_{CT} (27.82°C), and the upper limit temperature of thermal comfort zone is IPT_{ST} (21.13°C).

Key words: broilers chicken; body temperature; respiratory rate; inflection point temperature; increasing ambient temperature

0 引言

【研究意义】MOUNT^[1]将热中性区(thermoneutral zone, TNZ)定义为, 动物维持体温所需的能量最低且恒定的环境温度范围。家畜环境卫生学将 TNZ 定义为恒温动物依靠物理和行为调节即可维持体温正常的环境温度范围^[2]。从 TNZ 的定义可以看出, 动物在热中性区内最为舒适, 能量用于生产的效率最高。因此研究动物的热中性区, 通过环控设备将畜舍温度维持在热中性区内, 不仅有利于动物生产, 还符合动物的福利需求。【前人研究进展】一般通过测定家禽产热量的变化估测家禽热中性区^[3-6]。测定家禽产热量需要呼吸舱等试验设备, 方法较为复杂。VAN ES 等^[3]发现, 家禽的产热量随环境温度升高持续降低, 并没有出现理论上的恒定且最低的区域, 这主要是由于随环境温度升高, 家禽可以通过减少采食量, 降低产热量来维持体温的恒定。另外不同体重或不同日龄的家禽热中性区也不同^[6], 家禽测试之前的适应温度对家禽的热中性区的影响也很大。ARIELI 等^[7]发现, 试验前蛋鸡舍内平均温度降低 10°C 将导致蛋鸡热中性区下限温度降低 8.5°C, 上限温度降低 3°C。由此可见, 在某一特定条件下测定的家禽热中性区很可能并不适用于不同日龄、不同采食水平, 不同环境温度下的所有家禽, 因此需要发展一种可以快速、简便的, 适用于各种生产条件下估测家禽热中性区的方法。【本研究切入点】ARIELI 等^[7]将呼吸频率超过 60 次/min 时的环境温度定为上限温度, 这种方法主要依据经验判断, 缺乏科学依据。HUYNH 等^[8]通过测定不同温度下育肥猪体温、呼吸频率、产热量等指标的变化, 利用非线性分段回归的方法, 分析了这些指标开始发生剧烈变化时的环境温度, 即拐点温度(IPT)。【拟解决的关键问题】监测连续升高环境温度下, 肉鸡体温和呼吸频率的变化, 通过分析各指标开始变化时的拐点温度, 估测肉鸡热中性区的上限温度, 并探讨这种方法的可重复性。

1 材料与方法

1.1 试验动物及管理

选择 18 日龄健康 AA 肉鸡 10 只, 饲养于动物营养学国家重点实验室环控舱内, 使用单层平养笼具。日常饲养管理参照《AA 肉鸡饲养管理手册, 2009》进行。试验期间自由采食与饮水, 采用玉米-豆粕型饲料, 参照 NRC (1994)^[9] 营养需要配制。

1.2 环控舱温度设置

适应期(18—20 日龄)环控舱内温度维持在(20±1)°C, 相对湿度维持在(60±10)%。试验期(21—23 日龄)每天上午 10:00 逐渐将环境温度由 20°C 降低至 18°C, 从 11:00 开始, 每半个小时升温 1°C, 直至 18:30 升温到 33°C 并维持 0.5 h, 然后逐渐恢复到 20°C; 第 2、3 天按照相同程序设置环境温度。相对湿度始终维持 60% 不变, 具体温度设置见图 1。

1.3 体温及呼吸频率的测定

环控舱内温度: 将微型温度记录仪(DS1922L, Maxim, San Jose, CA, U.S.)放置于肉鸡相同高度, 每 10 min 测定一次, 实时记录舱内温度变化。

通过控制电脑设定环控舱的最低温度为 18°C, 环控舱根据温度探头感受到的温度进行自动调节, 环控舱标识的控温精度为±1°C, 但有可能会超过±1°C, 也就是说设定 18°C, 环境温度可能会在 16.5—19.5°C 范围内变化。而微型温度记录仪放置于肉鸡相同高度, 每 10 min 测定一次环境温度, 微型温度记录仪放置的位置与环控舱温度探头并不在相同位置, 2 个仪器之间会有差异, 因此温度记录仪实时记录的舱内温度存在部分 15°C 多的现象。

体表温度(ST): 参考常玉等^[10]的方法, 使用微型温度记录仪测定肉鸡背部皮肤温度。在适应期第一天, 剪除所测肉鸡背部正中 5 cm² 的羽毛, 将微型温度记录仪绑缚在肉鸡背部, 使记录仪上传感器一面紧密贴合在肉鸡背部皮肤上。由于绷带的阻隔, 避免环境热源通过辐射、对流的方式直接干扰体表温度的测定。

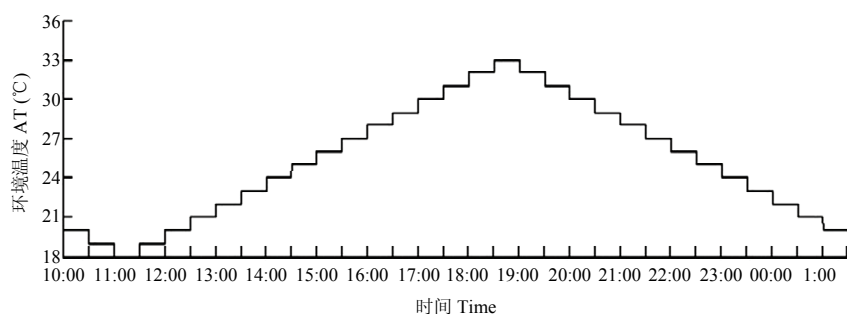


图 1 试验期间的环境温度的设置

Fig. 1 Temperature setting during the experiment

体核温度 (CT): 参考常玉等^[10] 的方法, 使用微型温度记录仪测定。

温度记录仪在适应期绑定或投喂, 预先设定好开始时间为试验开始当天的 08:00, 记录频率为每 10 min 记录一次, 连续记录 72 h 后, 取出温度记录仪导出数据进行分析。温度记录仪使用前利用北京市海淀区计量检测所校正过的标准水银温度计进行校正, 校正方法参考 PURSWELL 等^[11] 的操作方法。

呼吸频率 (RR): 使用秒表和计数器, 由专人记录肉鸡每分钟的呼吸次数。每 30 min 观察一次, 每只鸡每次连续计数 1 min。

试验结束后发现部分肉鸡呼吸频率的数据不符合折线回归的趋势。经仔细观察发现, 肉鸡在高温环境下的喘息并非持续发生, 喘息一段时间后呼吸频率恢复正常, 休息一段时间后继续喘息。本次研究每只肉鸡每个环境温度下仅记录 1 min 内的呼吸次数, 如果计数时该肉鸡处于正常呼吸状态, 则该鸡的呼吸频率明显偏低, 导致部分肉鸡的数据出现异常。根据前人研究的结果, 当环境温度超过 30℃ 时, 肉鸡的呼吸频率应超过 50 次/min。本研究将 30—33℃ 4 个温度点的呼吸频率进行筛选, 如果只有一个温度点的呼吸频率低于 50 次/min, 则将该数据做缺失处理, 如果有 2 个或 2 个以上温度点的数据均低于 50 次/min, 则该只肉鸡数据不进行分析。

1.4 数据统计与分析

参考 HUYNH 等^[8] 的方法, 采用 spss 17.0 统计软件中非线性分段回归分析 (Nonliner regression), 对连续升温下肉鸡体表、体核温度和呼吸频率数据进行分段回归分析。分段回归模型为:

当 $T \geq \text{IPT}$ 时: $Y = C + Z \times (AT - \text{IPT})$

当 $T < \text{IPT}$ 时: $Y = C$

其中, Y 是指体温及呼吸频率; C 是指肉鸡体温调节指标未发生变化时的常数; Z 是指肉鸡体温调节指标发生变化时的斜率; T 是指环境温度; IPT 是指肉鸡体温调节指标开始发生变化时所对应的环境温度点。

2 结果

2.1 肉鸡体表温度的变化估测的拐点温度及变异

由图 2 可见, 环境温度由 18℃ 升高至 33℃ 的过程中, 在低于某一温度时, 肉鸡的体表温度变化不大, 处于稳定状态; 当超过这一温度时, 肉鸡的体表温度开始呈线性上升趋势。经过非线性分段回归分析, 可以计算出肉鸡体表温度开始升高时的环境温度, 即肉鸡体表温度的拐点温度 (IPT_{st})。

第 1 天计算出的平均 IPT_{st} 为 21.18℃ (图 2-a), 当环境温度低于 21.18℃ 时, $ST=33.14$ ℃; 当环境温度超过 21.18℃ 时: $ST=33.14+0.36 \times (\text{环境温度}-21.18)$ 。第 2 天的平均 IPT_{st} 为 21.09℃ (图 2-b); 第 3 天为 21.13℃ (图 2-c), 3 d 平均为 21.13℃。

利用本方法计算出的 IPT_{st} 个体之间存在较大变异 (图 2-d), 变异系数分别为 6.31 (第 1 天)、6.15 (第 2 天) 和 5.64 (第 3 天); 但是同一只鸡连续测定 3 次的变异系数相对较小, 分别为 1.06、0.67、0.14、0.05、0.68、0.59、0.76、0.75、0.01、0.52, 平均 0.52。

2.2 肉鸡体核温度变化估测的拐点温度及变异

由图 3 可见, 环境温度由 18℃ 升高至 33℃ 的过程中, 在低于某一温度时, 肉鸡的体核温度变化不大, 处于稳定状态; 当超过这一温度时, 肉鸡的体核温度开始呈线性上升趋势。经过非线性分段回归分析, 可以计算出肉鸡体核温度开始升高时的环境温度, 即肉鸡体核温度的拐点温度 (IPT_{CT})。

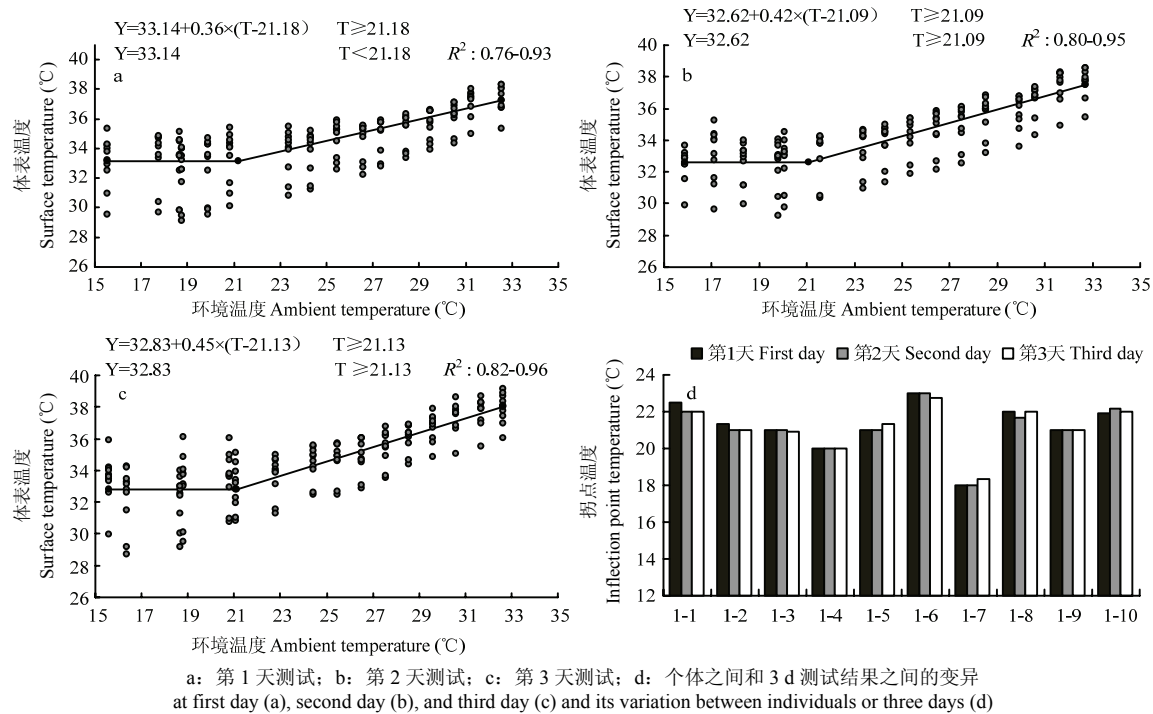
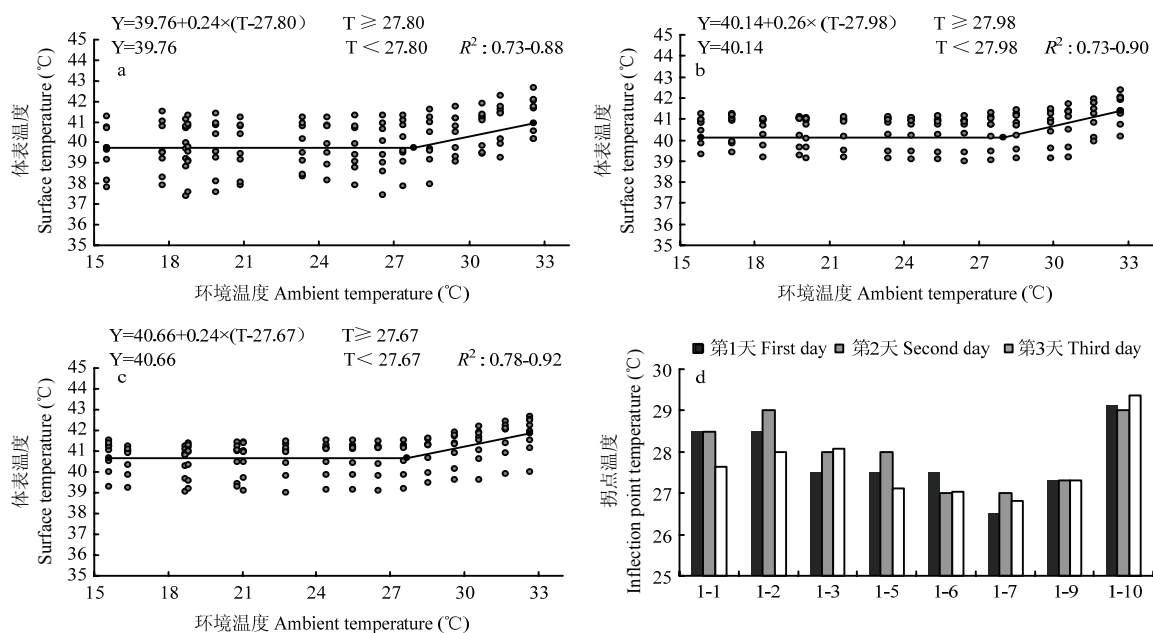


图2 连续升温环境下肉鸡体表温度开始升高时的环境温度（拐点温度， IPT_{ST} ）及其变异

Fig. 2 The inflection point temperature (IPT_{ST} , which is the certain ambient temperature above which the surface temperature of broilers started to change)



a: 第1天测试; b: 第2天测试; c: 第3天测试; d: 个体之间和3 d测试结果之间的变异。2只鸡体内芯片损坏，无数据。分别为1-4和1-8 at first day (a), second day (b), and third day (c) and its variation between individuals or three days (d). The loggers inside 2 chickens were damaged, so the data of 1-4 and 1-8 were missing

图3 连续升温环境下肉鸡体核温度开始升高时的环境温度（拐点温度， IPT_{CT} ）及其变异

Fig. 3 The inflection point temperature (IPT_{CT} , which is the certain ambient temperature above which the core temperature of broilers started to change)

第 1 天计算出的平均 IPT_{CT} 为 27.80°C (图 3-a), 当环境温度低于 27.80°C 时: $\text{ST}=39.76^{\circ}\text{C}$; 当环境温度超过 27.80°C 时: $\text{ST}=39.76+0.24\times(\text{环境温度}-27.80)$ 。第 2 天的平均 IPT_{CT} 为 27.98°C (图 3-b); 第 3 天为 27.67°C (图 3-c), 3 d 平均为 27.82°C 。

利用本方法计算出的 IPT_{CT} 个体之间存在较大变异 (图 3-d)。8 只鸡 (有 2 只鸡体内芯片损坏) 之间的个体变异系数分别为 2.82 (第 1 天)、2.75 (第 2 天) 和 2.78 (第 3 天); 但是同一只鸡连续测定 3 次的变异系数相对较小, 分别为 1.42、1.43、0.92、1.30、0.85、0.77、0.01、和 0.51, 平均 0.90。

2.3 基于升温环境下肉鸡呼吸频率的变化估测的拐点温度及变异

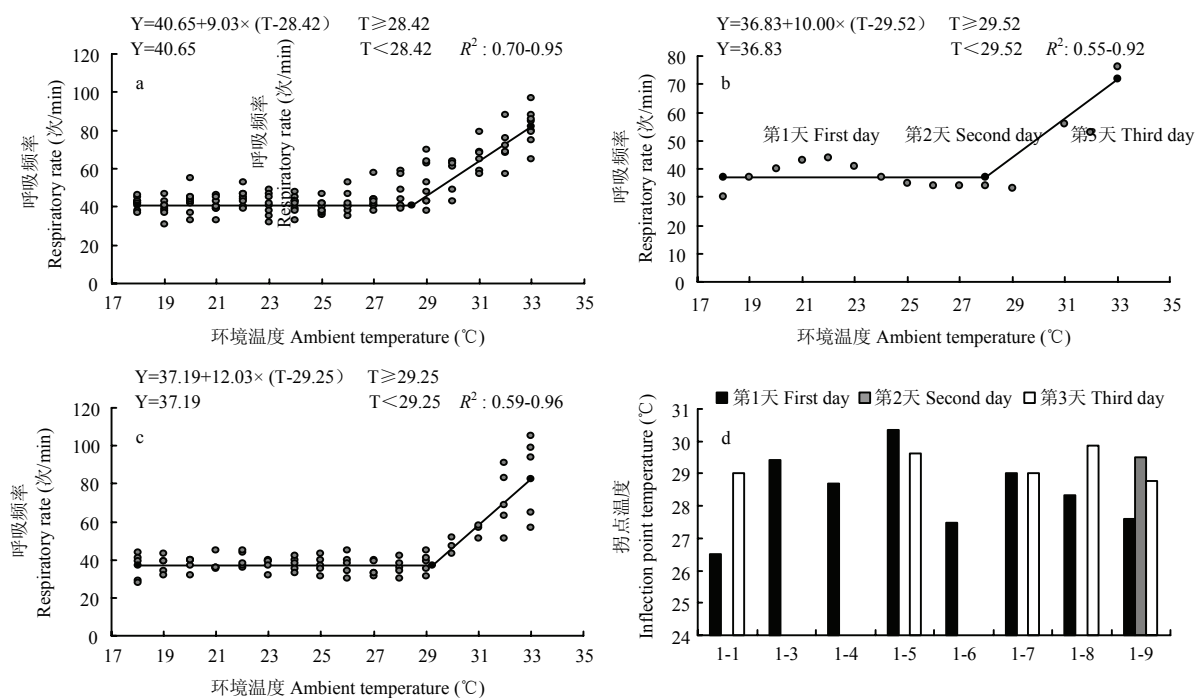
由于高温环境下肉鸡热喘息的现象并非持续发生, 而本试验测定肉鸡呼吸频率的时间过短, 导致部分肉鸡高温时呼吸频率的数据出现异常。剔除不合理数据后, 第 1 天剩余 8 只鸡, 折线回归分析得出, 平均 IPT_{RR} 为 28.42°C (图 4-a), 当环境温度低于 28.42

$^{\circ}\text{C}$ 时: $\text{RR}=40.65$ 次/min; 当环境温度超过 28.42°C 时: $\text{RR}=40.65+9.03\times(\text{环境温度}-28.42)$ 。第 2 天仅剩余 1 只鸡的数据, IPT_{RR} 为 29.52°C (图 4-b); 第 3 天剩余 5 只鸡的数据, 计算出的平均 IPT_{RR} 为 29.25°C (图 4-c)。

由图 4-d 可以看出, 利用本方法计算出的 IPT_{st} 个体之间存在较大变异。由于部分肉鸡数据异常, 无法计算 3 d 估测值的变异。

3 讨论

当环境温度变化时, 家禽可以通过血管的收缩或舒张, 改变体表的血流量, 调节体表温度^[12-13]。高温环境下家禽体表温度升高^[14-16]。MALHEIROS 等^[17]研究了 20、25 和 35°C 环境下肉鸡体表温度的变化, 发现肉鸡体表温度随环境温度升高呈线性升高。NASCIMENTO 等^[18]也发现, 在 18、25 和 32°C 下, 肉鸡体表温度也随环境温度升高呈线性升高。上述研究设置的环境温度点仅为 3 个, 无法进行精确的分段



a: 第 1 天测试; b: 第 2 天测试; c: 第 3 天测试; d: 个体之间和 3 d 测试结果之间的变异。筛选不合理数据后, 第 1 天剩 8 只鸡的数据, 第 2 天剩 1 只鸡的数据, 第 3 天剩 5 只鸡的数据
At first day (a), second day (b), and third day (c) and its variation between individuals or three days (d). The data of 8 chickens at the first day, 1 chicken at the second day, and 5 chickens at the third day were left after screening out the unreasonable data

图 4 连续升温环境下肉鸡呼吸频率开始升高时的环境温度 (拐点温度, IPT_{RR}) 及其变异

Fig. 4 The inflection point temperature (IPT_{RR} , which is the certain ambient temperature above which the respiratory rate of broilers started to change)

回归分析, 只能大致得出体表温度的线性变化。本研究从 18—33℃ 一共设定了 16 个温度点, 每个温度点测定了 3 次, 利用非线性分段回归的方法, 可以准确估测出肉鸡体表温度开始升高时的拐点温度。另外虽然个体之间 IPT_{st} 的变异较大, 但同一只鸡测定三次, IPT_{st} 的变异较小, 这表明采用微型芯片测定连续升温环境下肉鸡的体表温度, 分析计算 IPT_{st} 的方法重复性较好, 但需要尽可能多的样品数量才能准确反映整个鸡群的 IPT_{st}。

家禽体表覆盖有羽毛, 当环境温度超过热中性区后, 主要通过加快呼吸频率(热喘息), 增加蒸发散热量^[19]。大量研究均证明高温下肉鸡的呼吸频率显著升高^[20-22], 这些研究往往是 2 个或 3 个温度点之间的比较, 缺乏连续升高温度下呼吸频率的变化数据。肉鸡在高温环境下的热喘息并非持续发生, 一般是喘息一段时间休息一段时间。随温度升高, 喘息时间越长, 休息时间越短, 且喘息时的呼吸频率越高。本试验每只鸡呼吸频率的测定时间仅 1 min, 如果测定时正处于或部分处于肉鸡的休息时间, 将导致该温度下肉鸡呼吸频率的数据明显偏低。因此本文将部分异常数据进行了缺失处理。从现有数据可以看出, 随环境温度持续升高, 肉鸡呼吸频率存在明显的拐点温度。但由于个别数据的异常, 可能导致本次估测的拐点温度偏高。今后需要进一步研究不同高温对肉鸡热喘息持续时间、休息时间以及热喘息时呼吸频率的影响, 通过延长记录时间或仅记录喘息时的呼吸频率, 探寻合理的呼吸频率记录方法, 应用本试验的非线性分段回归分析, 才能准确估测出肉鸡呼吸频率的拐点温度。

当环境温度持续升高, 肉鸡通过减少产热、增加可感散热和蒸发散热仍无法到达平衡时, 会导致体核温度(或直肠温度)显著升高。与 20—22℃ 相比, 32—37℃ 高温环境下肉鸡的体核温度显著升高, 但 25—27℃ 环境下肉鸡体核温度并未有显著变化^[23-27]。由于大部分研究设定的环境温度点较少, 未进行非线性分段回归分析。本研究设定了 16 个温度点, 每个温度点测定了 3 次, 利用非线性分段回归的方法, 可以准确估测出肉鸡体核温度开始升高时的拐点温度。另外, 虽然个体之间 IPT_{CT} 的变异较大, 但同一只鸡测定 3 次, IPT_{CT} 的变异较小, 这表明采用微型芯片测定连续升温环境下肉鸡的体核温度, 分析计算 IPT_{CT} 的方法重复性较好, 但需要尽可能多的样品数量才能准确反映整个鸡群的 IPT_{CT}。

国际生理学联合会热委员会(IUPS)将热中性定义为: 动物仅通过可感散热的调节, 无需改变代谢产热或蒸发散热即可维持体温正常的环境温度范围^[28]。可感散热是指动物通过传导、对流和辐射进行散热, 这种散热方式主要通过改变体表温度进行调节。在热中性区内动物仅通过改变体表温度即可维持正常体温^[29-31]。根据 IUPS 的定义, 在热中性区内部包含一个热舒适区, 其上限温度应该为体表温度的拐点温度。当环境温度处于热舒适区内, 肉鸡不需要通过改变体表温度即可维持体温恒定; 当环境温度逐渐升高, 超过热舒适区时, 肉鸡通过提高体表温度即可维持体温恒定(此时依然处于热中性区内); 当环境温度继续升高, 超出热中性区后, 肉鸡必须通过增加蒸发散热维持体温恒定。因此蒸发散热开始增加时的环境温度(即肉鸡呼吸频率的拐点温度)可以定为肉鸡热中性区的上限温度。然而由于本试验呼吸频率测定时间过短, 导致部分数据偏低, 因此通过非线性回归分析得出呼吸频率开始升高时的拐点温度偏高, 无法准确估测出肉鸡热中性区的上限温度。如果环境温度仍持续升高, 肉鸡的散热量不能抵消自身的产热量时, 肉鸡体核温度开始升高, 因此理论上肉鸡体核温度的拐点温度应该高于呼吸频率的拐点温度。然而本研究测定的 IPT_{ST} 为 21.13℃, IPT_{RR} 为 29.06℃, IPT_{CT} 为 27.82℃, IPT_{CT} 反而低于 IPT_{RR}。推测是由于本试验关键温度点记录的呼吸频率偏低, 导致估测的拐点温度后移, 数值偏高。GILOH 等发现在急性热应激期间, 肉鸡的体表温度与体核温度存在很强的正相关关系, 可以替代体核温度, 作为反映肉鸡热应激的指标^[32]。但这只能在肉鸡处于急性热应激的状态, 此时环境温度远超过肉鸡热中性区之后。

4 结论

随环境温度升高, 肉鸡体表温度和体核温度开始升高时的环境温度(拐点温度)分别为 21.13℃ 和 27.82℃。连续测定 3 次, 同一肉鸡体表温度和体核温度的拐点温度变异较小, 表明这一方法具有较好的可重复性。呼吸频率由于测定时间过短, 数据异常, 无法得出准确的拐点温度。根据热中性区的定义, 3—4 周龄肉鸡热舒适区上限温度为 21.13℃, 热中性区上限温度低于 27.82℃。

References

- [1] MOUNT L E. The concept of thermal neutrality//Heat Loss from

- Animals and Man*. London: Easter School in Agricultural Science, 1974: 425-439.
- [2] 李如志, 颜培实. 家畜环境卫生学. 4 版. 北京: 中国高等教育出版社, 2011: 39-41.
- LI R Z, YAN P S. *Domestic Animals and Environmental Hygiene*. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2011: 39-41. (in Chinese)
- [3] VAN ES A J, VAN A D, NIJKAMP H J, VOGT J E, SCHEELE C W. Thermoneutral zone of laying hens kept in batteries. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1973, 32(1/5): 121-129.
- [4] VAN KAMPEN M, MITCHELL B W, SIEGEL H S. Thermoneutral zone of chickens as determined by measuring heat production, respiration rate, and electromyographic and electroencephalographic activity in light and dark environments and changing environmental temperatures. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 92(1): 219-226.
- [5] MELTZER A, GOODMAN G, FISTOOL J. Thermoneutral zone and resting metabolic rate of growing White Leghorn type chicks. *British Poultry Science*, 1982, 23(5): 383-391.
- [6] MELTZER A. Thermoneutral zone and resting metabolic rate of broilers. *British Poultry Science*, 1983, 24(4): 471-476.
- [7] ARIELI A, MELTZER A, BERMAN A. The thermoneutral temperature zone and seasonal acclimatization in the hen. *British Poultry Science*, 1980, 21(6): 471-478.
- [8] HUYNH T T T, AARNINK A J A, VERSTEGEN M W A, GERRITS W J J, HEETKAMP M J W, KEMP B, CANH T T. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(6): 1385-1396.
- [9] National Research Council. *Nutrition Requirements of Poultry*, 9th ed Revised. Washington D.C.: National Academy Press, 1994.
- [10] 常玉, 张少帅, 彭骞骞, 张敏红, 周莹, 夏九龙, 刁华杰, 冯京海. 产蛋及喂料行为对蛋鸡体核和体表温度的影响. *畜牧兽医学报*, 2016, 47(10): 2045-2051.
- CHANG Y, ZHANG S S, PENG Q Q, ZHANG M H, ZHOU Y, XIA J L, DIAO H J, FENG J H. Effects of egg laying and feeding behavior on the core and body temperature of the egg. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 47(10): 2045-2051. (in Chinese)
- [11] PURSWELL J L, DOZIER W A, OLANREWaju H A, DAVIS J D, XIN H, GATES R S. Effect of temperature-humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age//9th *International Livestock Environment Symposium*. Valencia, Spain, 2012, 7: 8-12.
- [12] WOLFENSON D, FREI Y F, SNAPIR N, BERMAN A. Heat stress effects on capillary blood flow and its redistribution in the laying hen. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 1981, 390(1): 86-93.
- [13] WOLFENSON D. The effect of acclimatization on blood flow and its distribution in normothermic and hyperthermic domestic fowl. *Comparative Biochemistry and Physiology. A, Comparative Physiology*, 1986, 85(4): 739-742.
- [14] YAHAV S, LUGER D, CAHANER A, DOTAN M, RUSAL M, HURWITZ S. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. *British Poultry Science*, 1998, 39: 133-138.
- [15] YAHAV S, RUSAL M, SHINDER D. The effect of ventilation on performance body and surface temperature of young turkeys. *Poultry Science*, 2008, 87(1): 133-137.
- [16] SOUZA J B F, ARRUDA A M V, DOMINGOS H G T, COSTA L L M. Regional differences in the surface temperature of naked neck laying hens in a semi-arid environment. *International Journal of Biometeorology*, 2013, 57(3): 377-380.
- [17] MALHEIROS R D, MORAES V M B, BRUNO L D G, MALHEIROS E B, FURLAN R L, MACARI M. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week Post-Hatch. *Journal of Applied Poultry Research*, 2000, 9(1): 111-117.
- [18] NASCIMENTO, G R, NAAS I A, PEREIRA D F, BARACHO M S, GARCIA R. Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. *Revista Brasileira De Ciência Avícola*, 2011, 13(4): 259-263.
- [19] HILLMAN P E, SCOTT N R, TIENHOVEN A V. Physiological responses and adaptations to hot and cold environments//*Stress Physiology in Livestock*. CRC Press, Inc, M. K. Yousef, ed. Boca Raton, FL. 1985: 27-28.
- [20] TOYOMIZU, TOKUDA M M, MUJAHID A, AKIBA Y. Progressive alteration to core temperature, respiration and blood acid-base balance in broilers exposed to acute heat stress. *The Journal of Poultry Science*, 2005, 42 (2): 110-118.
- [21] ZHOU W T, YAMAMOTO. Effects of environmental temperature and heat production due to food intake on abdominal temperature, shank skin temperature and respiration rate of broilers. *British Poultry Science*, 1997, 38(1): 107-114.
- [22] BELAY, T, THEETER R G. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. *British*

- Poultry Science*, 1993, 72: 116-124.
- [23] RICHARDS S A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. *Journal of Physiology*, 1971, 216(1): 1-10.
- [24] DONKOH A. Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. *International Journal of Biometeorology*, 1989, 33(4): 259-265.
- [25] TZSCHENTKE B, NICHELMANN M, POSTEL T. Effects of ambient temperature, age and wind speed on the thermal balance of layer-strain fowls. *British Poultry Science*, 1996, 37(3): 501-520.
- [26] YAHAV S, STRASCHNOW A, PLAVNIK I, HURWITZ S. Blood system response of chickens to changes in environmental temperature. *Poultry Science*, 1997, 76(4): 627-633.
- [27] YAHAV S. The effect of constant and diurnal cyclic temperatures on performance and blood system of young turkeys. *Journal of Thermal Biology*, 1999, 24(1): 71-78.
- [28] GOEL N K, STOLEN R H, MORGAN SKIM J K, DAN K, PICKRELL G. Glossary of terms for thermal physiology. Second edition. Revised by The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS Thermal Commission). *Pflugers Arch*, 1987, 410(4/5): 567-587.
- [29] SAVAGE M V, BRENGELMANN G L. Control of skin blood flow in the neutral zone of human body temperature regulation. *Journal of Applied Physiology*, 1996, 80(4): 1249.
- [30] BRENGELMANN G L, SAVAGE M V. Temperature regulation in the neutral zone. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, 813(1): 39-50.
- [31] MEKJAVIC I B, EIKEN O. Contribution of thermal and nonthermal factors to the regulation of body temperature in humans. *Journal of Applied Physiology*, 2006, 100(6): 2065-2072.
- [32] GILOH M, SHINDER D, YAHAV S. Skin surface temperature of broiler chickens is correlated to body core temperature and is indicative of their thermoregulatory status. *Poultry Science*, 2012, 91: 175-188.

(责任编辑 林鉴非)