

叶胜强, 龚萍, 梁振华, 等. 高温对稻-鸭共生模式下肉鸭行为学、生长性能及除草效果的影响[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(3): 156-163.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.03.018

# 高温对稻-鸭共生模式下肉鸭行为学、 生长性能及除草效果的影响

叶胜强<sup>1</sup>, 龚萍<sup>1</sup>, 梁振华<sup>2</sup>, 江洋<sup>3</sup>, 顾泽茂<sup>4,5</sup>,  
杨宇<sup>1</sup>, 王丽霞<sup>1</sup>, 陈星<sup>1</sup>, 钱运国<sup>1</sup>

1. 武汉市农业科学院畜牧兽医研究所, 武汉 430072; 2. 湖北省农业科学院畜牧兽医研究所, 武汉 430064;  
3. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 4. 湖北洪山实验室, 武汉 430070;  
5. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070

**摘要** 为优化稻-鸭共生模式, 选取稻-鸭共生试验田5块, 分1个大田块(T0, 2 hm<sup>2</sup>)和4个小田块(T1—T4, 0.33 hm<sup>2</sup>), 按105~225只/hm<sup>2</sup>投放武禽10肉鸭, 试验从6月30日起至8月31日止。持续观察鸭全天在田间的游动、休息、采食等行为的发生和持续时间, 以及除草效果; 记录试验期间每日08:00、14:00时野外温度、鸭周增质量、饲料消耗等数据。结果显示, 夏季高温条件下, 鸭田间活动高峰在05:00—10:00、15:00—19:00较凉爽时段, 中午高温时段鸭主动寻找阴凉处纳凉; 鸭一般在鸭舍近端一定半径范围内活动, T0田块远端几乎无鸭活动; 稻-鸭共生除草效果与鸭田间活动频次正相关, 鸭在无水区域的活动频次明显降低, 除草效果较差; 高温可引起鸭热应激, 明显降低生长速度。结果表明, 武禽10肉鸭适用于稻-鸭共生模式, 其除草效果与鸭群活动范围正相关, 夏季高温显著影响其生长性能, 运动场遮阳、稻田和环沟灌水可有效缓解热应激。

**关键词** 稻-鸭共生; 鸭行为; 除草效果; 生长性能

**中图分类号** S511; S834; S181 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)03-0156-08

水稻是我国重要的粮食作物, 常年种植面积约3 000万hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。传统种植模式中化肥和农药的过度使用导致了一系列问题, 如土壤退化、水体污染和生物多样性下降。为实现农业可持续发展, 稻-鸭共生等生态种植模式逐渐受到重视。该模式通过鸭群在稻田中的活动实现除草、控虫、培肥等作用, 同时减少环境污染, 符合现代农业“高产、高效、安全、生态”的发展理念<sup>[2-3]</sup>。

鸭品种的选择对稻-鸭共生的效率至关重要。武禽10肉鸭作为中小体型肉鸭品种, 兼具较强的野外觅食能力和适宜的饲养周期等特点, 是稻-鸭共生的理想选择<sup>[4]</sup>。然而, 稻-鸭共生的时间多集中在6—9月的高温季节, 以湖北地区广泛推广的稻-鸭-虾模式为例, 鸭群在水稻返青后放入田间, 此时正值高温季节, 可能对其活动和生长产生不利影响。

目前, 关于稻-鸭共生的研究多集中于稻田生态

环境和水稻生产方面<sup>[5-7]</sup>, 而对鸭的行为及生长性能, 尤其是高温环境下的适应性研究较少<sup>[8]</sup>。因此, 本研究以武禽10肉鸭为对象, 探讨高温对稻-鸭共作模式下鸭行为学、生长性能、成活率等方面的影响, 以为优化稻-鸭共生模式提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

水稻品种为华墨香3号, 试验鸭为武汉市农业科学院提供的武禽10肉鸭配套系(农10新品种证字第12号), 鸭全价饲料为湖北海大饲料有限公司提供的肉鸭中鸭料。试验时间为2022年6月30日至2022年8月31日, 地点为华中农业大学双水双绿研究院监利(新沟)科研基地(30°5′N, 112°56′E), 该地区属于亚热带季风湿润气候。

收稿日期: 2025-02-24

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021hszd002); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-42); 湖北省技术创新专项(2022BEC037)

叶胜强, E-mail: 31953078@qq.com

通信作者: 钱运国, E-mail: qyg2016@163.com

1.2 试验设计

试验稻田划分为5块区域,其中1个大田块试验组(T0,2 hm<sup>2</sup>),4个小田块试验组(T1—T4,0.33 hm<sup>2</sup>)。T0组试验场地于鸭棚与田块之间设置宽约2 m、水深约1.5 m的环沟,作为鸭的嬉水池,并配套有运动场;而T1—T4组试验场地未在鸭棚与田块之间设置环沟,但配套有运动场。T0—T4组放鸭数量分别为480、35、38、41和44只。5个组除试验场地布局和放鸭密度不同外,其他试验条件和田间管理等措施均一致,且全程不施农药(除草剂、杀虫剂)和化肥。每个田块四周用0.5 m高的尼龙网围栏,防止鸭外逃和进入其他田块。每个田块搭建1个鸭棚,作为鸭休息、避雨和补饲场所。鸭棚搭建在田埂高处,按照15只/m<sup>2</sup>搭建,鸭舍通风条件良好。

水稻移栽日期为6月15日,株行距为30 cm×16 cm。水稻移栽后15 d(6月30日)将2周龄育雏结束的武禽10肉鸭放入稻田。鸭白天在田间自由活动和采食,每天18:00时左右音乐呼唤回栏补饲鸭全价饲料。水稻进入抽穗期时将鸭从稻田收回,稻-鸭共生时间63 d。

1.3 武禽10肉鸭鸭群田间管理

1)采食音乐训练。从鸭群进入鸭棚饲养第1天起,每次喂食时打开固定音乐铃声,进行条件反射音乐固定捆绑,坚持3~5 d。

2)采食量控制与稻田劳作效果调节。鸭补饲量与田间觅食量成反比,补饲量越大,鸭到田间觅食活动越少,继而降低鸭田间除草、中耕、浑水效果;但补饲不足也会导致鸭出栏体质量低,生产效益降低。因此,需合理补饲,获得采食量与稻田劳作的最优效果。

3)夏季抗热应激管理。试验前,做好相应防暑措施。如:在鸭棚周围搭建遮阳棚,方便鸭高温时乘凉;鸭棚旁配备水质优良的深水虾池,防止雏鸭高温中暑;加强田间排灌水管理,尽量灌深水、减少晒田时间,避免鸭在泥田里过长逗留而中暑。

1.4 天气状况记录及野外温度测定

试验期间,参考气象学日平均气温的计算方法<sup>[9]</sup>,并根据稻-鸭共生模式中鸭行为特点,记录每日08:00(*T*<sub>m1</sub>)和14:00(*T*<sub>m2</sub>)时野外温度,计算日平均气温(*T*<sub>ma</sub>),计算公式如式(1)所示:

$$T_{ma}=(T_{m1}+T_{m2})/2 \tag{1}$$

1.5 武禽10肉鸭田间行为观测

从鸭放入稻田日起,每隔2周全天候观察鸭田间活动情况,主要包括鸭在田间、运动场、环沟、鸭棚等场所行走、游弋、觅食、采食、嬉水、休息等行为。

1.6 稻-鸭共生除草效果观察

分别于封行前(放鸭后1周)、封行后(放鸭后4~5周)观察鸭群活动对田间杂草清除效果。除草效果主要评价指标包括田间杂草种类、生长情况,以及杂草发生斑块面积占整个田块面积的比例。

1.7 生长性能测定及生长曲线拟合

试验期间,每天记录鸭死淘情况,每2周从每组随机抽取10只鸭称量体质量,记录每组饲料消耗情况。分别用Logistic、Gompertz、Bertalanffy曲线模型拟合生长曲线,计算出模型参数*A*、*B*、*k*的最优估计值。模型表达式及各模型的拐点体质量、拐点日龄等参数计算见表1,其中*A*为极限生长量,*k*为瞬时相对生长率,*B*为调节参数,*t*为周龄,自然常数*e*≈2.72。

表1 Logistic、Gompertz、Bertalanffy 拟合模型表达式  
Table 1 Fitting function of Logistic, Gompertz, Bertalanffy model

| 模型<br>Model | 表达式<br>Formula       | 拐点体质量<br>Inflection point weight | 拐点日龄<br>Inflection point age | 最大周增质量<br>Biggest body weight gain |
|-------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Logistic    | $W=A/(1+Be^{kt})$    | $A/2$                            | $(\ln B)/k$                  | $Ak/4$                             |
| Gompertz    | $W=Ae^{-B\exp(-kt)}$ | $A/e$                            | $(\ln B)/k$                  | $Ak/e$                             |
| Bertalanffy | $W=A(1-Be^{-kt})^3$  | $8A/27$                          | $(\ln 3B)/k$                 | $4Ak/9$                            |

1.8 野外温度对武禽10肉鸭生长发育的影响

根据最佳生长曲线拟合模型预测T0、T1—T4组武禽10肉鸭各周龄体质量,分别计算鸭龄2~4周、4~6周、6~8周、8~10周、10~12周的绝对增质量,并计算该模型预测的武禽10肉鸭各周龄段绝对增质量与文献[10]报道的对应模型预测的对

应周龄段绝对增质量的比值,记作相对生长系数。取早、晚温度的平均值计为当天的平均温度;取与肉鸭生长对应周龄段每天平均温度的平均值,计为该周期内的平均温度。计算周期内平均温度与相对生长系数的相关系数,并进行差异显著性分析。

## 1.9 数据统计

利用 Microsoft Excel 和 SPSS 18.0 对所有数据进行整理和统计分析,数据以“平均值±标准误”表示,不同处理间采用 Duncan's 多重比较进行差异显著性分析。采用 SPSS 18.0 软件非线性模型拟合生长曲线,用  $R^2$  评价拟合度,  $R^2$  值越接近 1, 曲线拟合效果越好。

$$R^2 = 1 - \sum (W_i - \bar{W})^2 / (\sum W_i - \bar{W})^2 \quad (2)$$

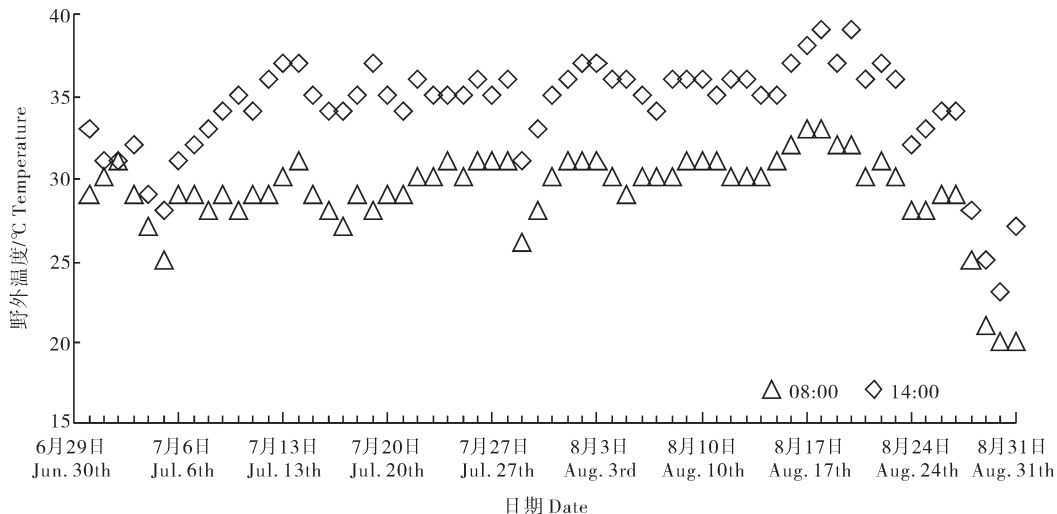


图1 试验场地野外温度

Fig. 1 Field temperature of the test site

## 2.2 武禽10肉鸭田间行为观测

观察发现,武禽10肉鸭的昼夜行为存在节律性。清晨及上午(05:00—10:00)、下午(15:00—19:00)是鸭田间活动的高峰期,主要表现为在田间行走、游弋和觅食,过程中有田间休息、环沟嬉水和理毛等行为。中午(10:00—15:00)是鸭休息的高峰期,主要表现为在有遮荫的田埂、有遮阳网的运动场休息,T0组有部分鸭在环沟中嬉水,嬉水持续时间约0.5 h,上岸后有理毛行为。傍晚鸭回栏圈补饲,夜间主要在舍内休息。

不同大小田块中,武禽10肉鸭的活动区域和频次存在明显差别。无人驱赶情况下,T0田块中,有近一半区域几乎无鸭进入活动,田块离鸭舍越远,鸭的活动频次越低。T1—T4田块中,鸭的活动范围覆盖了整个田块,除无水区域鸭的活动频次较低外,其他区域鸭的活动频次无明显差别。

## 2.3 稻-鸭共生除草效果

放鸭后1周,水稻尚未封行,田间有水区域,鸭活动几乎能覆盖,行间几乎无杂草生长,但混杂在水稻株内直立的稗草、莎草、千金子等可见生长。田间少量无水区域,鸭活动频次较低,行间可见稗

式(2)中,  $W_i$  为体质量观测值,  $W$  为曲线拟合值,  $\bar{W}$  为观测平均值。

## 2 结果与分析

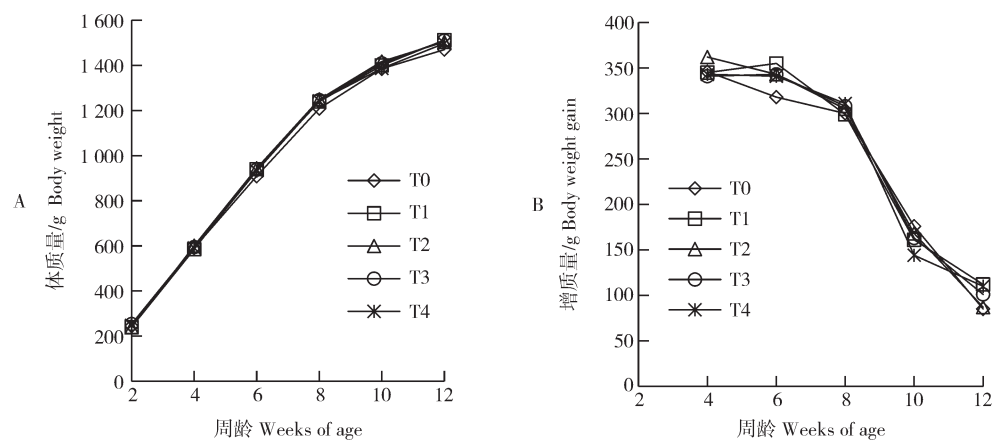
### 2.1 试验期间天气及温度

试验期间基本为晴好天气,08:00和14:00时野外温度见图1。试验期间大部分时间白天温度高于30℃,午后温度高于35℃。

草、莎草、千金子、喜旱莲子草等杂草生长,生物量明显高于有水区域。封行后,有水区域的行间几乎无杂草生长,但可见混杂在水稻株内生长的稗草、莎草、千金子等高出水稻苗。整个田块长期无水区域内稗草、莎草、千金子等成片生长,生物量可超过水稻苗,形成杂草生长斑块。大田块杂草斑块面积约占整个田块面积的1/5,4个小田块杂草斑块面积约占整个田块面积的1/10。T0田块杂草斑块面积明显高于T1—T4田块,T1—T4田块之间略有差异。

### 2.4 野外温度对武禽10肉鸭生长性能的影响

1)武禽10肉鸭生长发育。武禽10肉鸭生长的累积生长曲线和绝对生长曲线如图2所示,其生长发育过程总体呈“S”形曲线,随着日龄增加鸭体质量不断增长,8周龄前平均体质量增长的趋势较快,8周龄后体质量增加减缓,直至12周龄仍有上升趋势。由表2可知,不同试验组鸭的初始体质量相近,随着日龄增加,T0组各周龄体质量呈现低于T1—T4组的趋势,但差异不显著( $P>0.05$ );T0组体质量的变异系数显著高于其他组( $P<0.05$ );各组间料重比差异不显著( $P>0.05$ ),T0组成活率比T1—T4组平均值低3.7%。



A: 累积生长曲线 Cumulative growth curve; B: 绝对生长曲线 Absolute growth curve.

图 2 武禽 10 肉鸭生长曲线

Fig. 2 Growth curve of Wuqin 10 meat duck

表 2 武禽 10 肉鸭生长性能

Table 2 Growth performance of Wuqin 10 meat duck

| 指标 Index                       | 周龄<br>Weeks of age | T0           | T1           | T2           | T3           | T4           | P 值<br>P value |
|--------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 体质量/g<br>Body weight           | 2                  | 245±23.21    | 240±17.00    | 239±22.34    | 254±19.55    | 248±22.51    | 0.501          |
|                                | 4                  | 591±65.90    | 585±44.03    | 601±56.26    | 595±55.83    | 591±49.54    | 0.976          |
|                                | 6                  | 909±114.26   | 940±76.01    | 944±90.82    | 938±78.71    | 932±82.97    | 0.914          |
|                                | 8                  | 1 209±253.84 | 1 239±106.40 | 1 249±119.76 | 1 246±113.74 | 1 243±101.99 | 0.976          |
|                                | 10                 | 1 385±215.42 | 1400±145.65  | 1 417±138.08 | 1 409±130.34 | 1 387±116.90 | 0.988          |
|                                | 12                 | 1 470±354.46 | 1512±143.67  | 1 504±158.27 | 1 510±165.26 | 1 497±135.16 | 0.992          |
| 体质量变异系数/%<br>CV of body weight |                    | 15.64±5.80a  | 8.53±1.24b   | 9.70±0.43b   | 9.13±1.09b   | 8.67±0.38b   | 0.000          |
| 料重比<br>Feed conversion ratio   | 0~12               | 2.03:1       | 2.05:1       | 2.04:1       | 2.03:1       | 2.04:1       | /              |
| 成活率/%<br>Survival rate         |                    | 95.0         | 97.1         | 100          | 100          | 97.7         | /              |

注：同行不同小写字母表示组间差异显著( $P<0.05$ )。Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences in groups ( $P<0.05$ ).

2)武禽 10 肉鸭生长曲线拟合。大田块(T0 组)和小田块(取 T1—T4 组平均值)鸭生长曲线拟合结果如表 3 所示,3 种模型拟合度均在 0.997 及以上,均能较好地拟合武禽 10 肉鸭的生长发育,其中 Gompertz 与 Bertalanffy 模型对 T0、T1—T4 组不同周龄体质量拟合度更优。3 种模型各周龄体质量的预测值与实测值比较如图 3 所示,各组 2~4 周龄、10~12 周龄实测值与 Bertalanffy 模型预测值更为接近,6~8 周龄与 Logistic 模型更接近。

3)野外温度对武禽 10 肉鸭生长发育的影响。野外温度与武禽 10 肉鸭相对生长系数的相关分析结果如表 4 所示,野外温度与肉鸭生长速度负相关。在 8 月底(10~12 周),野外日平均温度下降至 28.61 ℃

时,肉鸭的相对生长系数达到 0.89~1.17,明显高于高温阶段的相对生长系数。

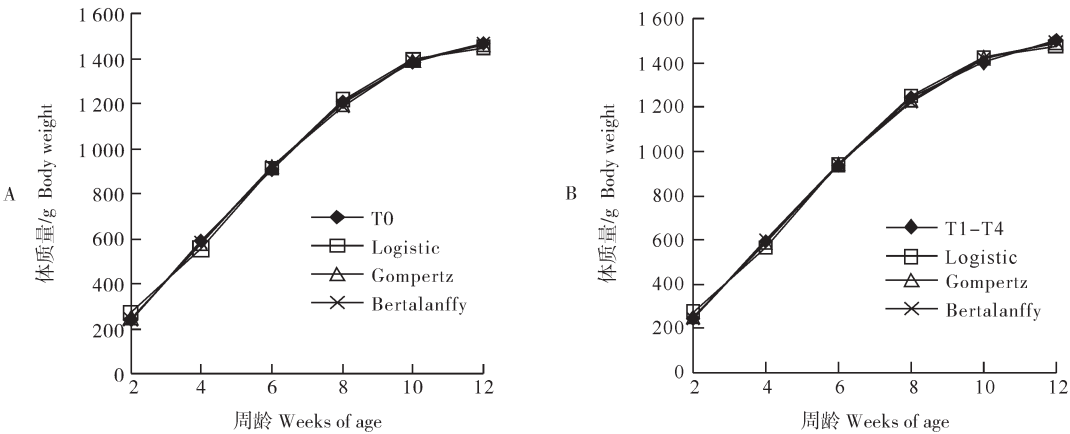
### 3 讨 论

鸭可以根据周围环境的变化和自身的生理状况来调整行为,使之更好地适应环境。高温对稻-鸭共生模式下鸭的行为产生了明显的影响,本研究发现,鸭田间活动高峰期主要出现在 05:00—10:00 和 15:00—19:00 时,而 10:00—15:00 时,正是太阳光照最强烈和田间温度最高的时候,鸭会主动寻找遮荫的田埂、茂盛的杂草、人工遮阳网,以及水温较低的环沟等阴凉处休息,这与罗璇等<sup>[5]</sup>报道的结果基本一致。本研究结果显示,不同大小田块中鸭的活动范



表 3 武禽 10 肉鸭生长模型参数估计  
Table 3 Parameter estimation of Wuqin 10 meat duck growth model

| 分组<br>Group | 模型<br>Model | A        | B     | k    | R <sup>2</sup> | 拐点周龄<br>Inflection point<br>age | 拐点体质量/g<br>Inflection point<br>weight | 最大周增质量/g<br>Biggest body weight<br>gain |
|-------------|-------------|----------|-------|------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|
| T0          | Logistic    | 1 544.28 | 11.81 | 0.47 | 0.997          | 5.21                            | 772.14                                | 183.00                                  |
|             | Gompertz    | 1 694.18 | 3.37  | 0.29 | 0.999          | 4.26                            | 623.26                                | 177.63                                  |
|             | Bertalanffy | 1 804.58 | 0.76  | 0.22 | 0.999          | 3.71                            | 534.69                                | 177.25                                  |
| T1—T4       | Logistic    | 1 561.94 | 12.57 | 0.49 | 0.997          | 5.15                            | 780.97                                | 191.73                                  |
|             | Gompertz    | 1 706.84 | 3.49  | 0.30 | 0.999          | 4.22                            | 627.91                                | 185.86                                  |
|             | Bertalanffy | 1 813.83 | 0.78  | 0.23 | 0.999          | 3.67                            | 537.43                                | 185.41                                  |



A: T0 组生长曲线拟合 Growth curve fitting of T0; B: T1—T4 组生长曲线拟合 Growth curve fitting of T1—T4.

图 3 累积生长曲线与模型拟合曲线比较

Fig. 3 Comparison between cumulative and fitting growth curve

表 4 野外温度与武禽 10 肉鸭相对生长系数的相关分析  
Table 4 Correlation between yield temperature and relative growth coefficient of Wuqin 10 meat duck

| 日期<br>Date                                      | 周龄<br>Weeks of age | 温度/℃<br>Temperature | 相对生长系数 Relative growth coefficient |        |        |        |        |
|---|--------------------|---------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|   |                    |                     | T0                                 | T1     | T2     | T3     | T4     |
| 6 月 30 日—7 月 13 日<br>June 30th to July 13th     | 2~4                | 30.68               | 0.48                               | 0.48   | 0.50   | 0.47   | 0.48   |
| 7 月 14 日—7 月 27 日<br>July 14th to July 27th     | 4~6                | 32.36               | 0.43                               | 0.48   | 0.46   | 0.46   | 0.46   |
| 7 月 28 日—8 月 10 日<br>July 28th to August 10th   | 6~8                | 32.61               | 0.57                               | 0.57   | 0.58   | 0.59   | 0.59   |
| 8 月 11 日—8 月 24 日<br>August 11th to August 24th | 8~10               | 33.61               | 0.57                               | 0.52   | 0.55   | 0.53   | 0.47   |
| 8 月 25 日—8 月 31 日<br>August 25th to August 31st | 10~12              | 28.61               | 0.89                               | 1.17   | 0.91   | 1.05   | 1.15   |
| 相关系数 Correlation coefficient                    |                    |                     | −0.695                             | −0.804 | −0.754 | −0.766 | −0.822 |
| P 值 P value                                     |                    |                     | 0.193                              | 0.101  | 0.141  | 0.131  | 0.087  |

围和频次存在明显差别。在大田块中,鸭的活动主要集中在鸭舍近端约 1 hm<sup>2</sup> 范围内。值得注意的是,该田块中间位置有 1 条田埂,在一定程度上也阻碍了鸭进入远端田块。在以 0.33 hm<sup>2</sup> 为 1 个单元的田块

中,鸭在各区域的活动频次较为平均。为了让鸭能在田间均匀活动,同时不让鸭对水稻生长造成影响,推荐控制单元田块面积 0.33~1.33 hm<sup>2</sup>、鸭群体大小在 300 只以内。这与刘百龙等<sup>[11]</sup>报道的大规模田块

采用“多点饲喂、自然分群”方法,控制群体大小、提高鸭田间活动均匀度相吻合;与沈建凯等<sup>[12]</sup>推荐的稻田养鸭单元田块面积 $0.4\sim 1\text{ hm}^2$ 、鸭群体大小 $100\sim 200$ 只、放养密度 $12\sim 15$ 只/ $667\text{ m}^2$ 较为一致。此外,建议在鸭进入稻田入口处开挖面积 $5\sim 10\text{ m}^2$ 、深 $1\text{ m}$ 左右的水凼,以降低鸭群密集活动对水稻踩踏的影响,也是鸭防暑降温的有效措施之一。

稻田杂草一般在秧苗移栽后 $3\sim 5\text{ d}$ 萌发, $7\sim 10\text{ d}$ 形成幼苗,稻田封行时达到生长高峰。在无人为干预情况下,杂草生长迅速,封行时生物量甚至可超过禾苗。以鸭控草理论上越早放鸭效果越好,利用鸭喜啄食杂草幼嫩茎叶、踩踏杂草入泥腐烂和搅混水体抑制底生杂草光合作用等方式,将杂草控制在萌发及幼苗期。但过早放鸭,特别是在秧苗未活棵前放鸭,会降低秧苗的活棵率,从而影响水稻后期的生长和产量。放鸭时的鸭日龄和体质量大小非常关键。鸭过小,野外生存能力不足,导致存活率降低,同时活动范围有限,达不到除草效果;鸭过大,易对早期秧苗造成踩踏损伤。稻田载鸭量也是影响除草效果和水稻产量的重要因素,为达到效益最优,前期研究结果显示, $667\text{ m}^2$ 载鸭量以 $15\sim 20$ 只为宜<sup>[13-14]</sup>。综合考虑,推荐在秧苗移栽 $7\sim 10\text{ d}$ 活棵后放鸭,鸭日龄 $15\text{ d}$ 左右,体质量 $200\sim 300\text{ g}$ , $667\text{ m}^2$ 放鸭 $15\sim 20$ 只,鸭品种以活动能力强的中小体型品种,如武禽10肉鸭配套系,肉用、蛋用麻鸭等为宜<sup>[5]</sup>。本试验稻田放鸭时间为秧苗移栽后 $15\text{ d}$ ,鸭日龄 $15\text{ d}$ ,体质量约 $250\text{ g}$ , $667\text{ m}^2$ 放鸭 $7\sim 16$ 只。比较而言,除草效果与放鸭密度正相关,在稻-鸭共生后期,能被鸭啄食或踩踏的杂草被鸭消耗殆尽,不同放养密度之间的除草效果无差异。此外,值得探讨的是,本研究放鸭时间略晚,在一定程度上可能降低了除草效果。

中国南方地区,稻-鸭共生的时间主要集中在高温的夏季,田间持续高温、太阳直射、野外高温等环境容易引起鸭热应激。有研究表明,热应激会导致鸭免疫抑制,采食量和增质量减少,饲料报酬下降,死亡率增加<sup>[15-17]</sup>。本研究中, $6\text{月}30\text{日}\sim 8\text{月}24\text{日}$ ,试验场地野外日均温度超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,鸭的相对生长系数约为 $0.5$ ;  $8\text{月}25\sim 31\text{日}$ ,日均温度降低至 $28.61\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,特别是最后 $4\text{ d}$ ,日均温度低于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,鸭的相对生长系数达到了 $0.89\sim 1.17$ 。结果表明,野外高温对鸭生长性能影响十分明显,当日均温度超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,鸭的生长速度几

乎只能达到正常条件下的一半,而当日均温度降到 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时,生长速度与正常条件下基本一致。因此,夏季稻-鸭共生有必要采取防暑降温措施,以减轻热应激对鸭生长、活动及免疫功能等影响。这些措施包括运动场增设遮阳网、植绿荫树木,稻田、环沟灌深水等。遮荫可以避免太阳直射,降低温度,减少直射病、热射病的发生。水稻封行遮挡了太阳直射,大幅降低了禾下温度,田间灌深水可进一步降低禾下温度,为鸭创造了较为舒适的田间环境。鸭全身羽毛覆盖、无汗腺,对环境温度调节能力差,但鸭可以通过裸露的喙和脚在水中散热,较低的田间水温有利于减轻鸭热应激。

综合以上结果,可选用武禽10肉鸭作为稻-鸭共生的鸭品种;稻-鸭共生可发挥明显的除草效果;夏季高温对鸭行为和生产性能可产生明显的负面影响,建议采取必要的遮阳、灌水等措施以减轻影响。本研究初步揭示了高温对稻-鸭共生模式下鸭行为及生产性能的影响,但试验田块数量有限且除草效果未定量,下一步将扩大试验区域,结合无人机航拍和图像分析技术,精准量化鸭活动轨迹与除草效果的时空关联,并研发智能环境调控系统,提升稻-鸭共生的精细化管控水平,优化稻-鸭共生模式的适应性管理。

## 参考文献 References

- [1] 梁玉刚,李静怡,周晶,等.中国水稻栽培技术的演变与展望[J].作物研究,2022,36(2):180-188.LIANG Y G, LI J Y, ZHOU J, et al. Evolution and prospect of rice cultivation technology in China[J]. Crop research, 2022, 36(2): 180-188 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈嘉庆,孔秋娣,史锐,等.稻鸭共作化肥减量技术研究进展[J].畜禽业,2024,35(11):55-58.CHEN J Q, KONG Q D, SHI R, et al. Research progress on fertilizer reduction technology in rice-duck integrated farming[J]. Livestock and poultry industry, 2024, 35(11): 55-58 (in Chinese with English abstract).
- [3] 左倩.稻-鸭-虾和稻-虾综合种养模式水体理化指标和重金属变化规律的比较研究[D].武汉:华中农业大学,2024.ZUO Q. Comparison of the changes of physical and chemical indexes and heavy metals in water in rice-duck-crayfish and rice-crayfish integrated farming models[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2024 (in Chinese with English abstract).
- [4] 胡鉴轩.稻-鸭-虾模式中鸭品种筛选和氮磷平衡与循环的研

- 究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2024. HU J X. Studies on screening duck varieties and nitrogen and phosphorus balance and cycle of rice-duck-crayfish integrated system [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2024 (in Chinese with English abstract).
- [5] 罗璇, 安晨, 路璐, 等. 不同鸭品种在“稻鸭共作”系统中的行为学差异及对水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(15): 159-164. LUO X, AN C, LU L, et al. Behavioral differences of duck breeds in the integrated rice-duck farming system and the effects on rice yield [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2019, 35(15): 159-164 (in Chinese with English abstract).
- [6] 周洁玲. 稻鸭共作模式水稻产量及效益分析[J]. 种子科技, 2024, 42(18): 31-33. ZHOU J L. Analysis of rice yield and benefit in rice-duck co-cropping model [J]. Seed science & technology, 2024, 42(18): 31-33 (in Chinese).
- [7] 余俊杰, 刘洋, 罗文浩, 等. 稻田共作模式中重金属的污染特征及有效性控制研究[J]. 中国生态农业学报, 2025, 33(2): 374-386. YU J J, LIU Y, LUO W H, et al. Research on the pollution characteristics and effective control of heavy metals in co-cultivation rice field [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2025, 33(2): 374-386 (in Chinese with English abstract).
- [8] 冯杯仪, 王国霞, 刘文俊, 等. 稻鸭共作与圈养模式对麻鸭生长性能影响的比较研究[J]. 广东畜牧兽医科技, 2024, 49(2): 37-40. FENG B Y, WANG G X, LIU W J, et al. A comparative study between the effects of rice-duck cocropping and captivity on the performance of hemp duck [J]. Guangdong journal of animal and veterinary science, 2024, 49(2): 37-40 (in Chinese with English abstract).
- [9] 袁芳, 周贺玲, 裴宇航, 等. 不同观测时次对日平均气温统计的影响: 以黑龙江地区为例[J]. 中国农学通报, 2019, 35(8): 73-81. YUAN F, ZHOU H L, PEI Y H, et al. Influence of observation times on the daily mean air temperature statistics: a case study of Heilongjiang [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2019, 35(8): 73-81 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王丽霞, 陈星, 杨宇, 等. 乌嘴白羽优质肉鸭体重与胸腿肌生长发育规律及其生长曲线模型拟合分析[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(2): 71-76. WANG L X, CHEN X, YANG Y, et al. The growth and development law of body weight and chest and leg muscles of high-quality meat ducks with black mouth and white feather and its growth curve model fitting analysis [J]. Chinese journal of animal science, 2020, 56(2): 71-76 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘百龙, 赵世坚, 陆燕, 等. 大面积稻鸭共育种养技术品种与技术[J]. 中国稻米, 2017, 23(3): 85-87. LIU B L, ZHAO S J, LU Y, et al. The rice-duck farming mode in large area [J]. China rice, 2017, 23(3): 85-87 (in Chinese with English abstract).
- [12] 沈建凯, 黄璜, 傅志强, 等. 规模化稻鸭生态种养对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 123-128. SHEN J K, HUANG H, FU Z Q, et al. Effect of large-scale rice-duck eco-farming on the composition and diversity of weed community in paddy fields [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2010, 18(1): 123-128 (in Chinese with English abstract).
- [13] 禹盛苗, 金千瑜, 朱练峰, 等. 稻田养鸭密度对水稻产量和经济效益的影响[J]. 浙江农业科学, 2008, 49(1): 68-71. YU S M, JIN Q Y, ZHU L F, et al. Effect of duck breeding density in paddy field on rice yield and economic benefit [J]. Journal of Zhejiang agricultural sciences, 2008, 49(1): 68-71 (in Chinese).
- [14] 唐世凯, 刘丽芳, 汤利, 等. 稻+鸭生物互作的综合经济效益研究[J]. 农学学报, 2019, 9(10): 84-88. TANG S K, LIU L F, TANG L, et al. Comprehensive economic benefits of rice-duck biological interaction [J]. Journal of agriculture, 2019, 9(10): 84-88 (in Chinese with English abstract).
- [15] MA X Y, LIN Y C, ZHANG H X, et al. Heat stress impairs the nutritional metabolism and reduces the productivity of egg-laying ducks [J]. Animal reproduction science, 2014, 145(3/4): 182-190.
- [16] 宋文静, 韦启鹏, 赵品, 等. 包被肉桂醛对夏季高温条件下肉鸭生长性能、屠宰性能、血清抗氧化指标及空肠形态结构的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(3): 1188-1195. SONG W J, WEI Q P, ZHAO P, et al. Effects of coated cinnamaldehyde on growth performance, slaughter performance, serum antioxidant indexes and jejunum morphology of meat ducks under high temperature in summer [J]. Chinese journal of animal nutrition, 2020, 32(3): 1188-1195 (in Chinese with English abstract).
- [17] 朱伟, 姜威, 李新杰, 等. 精氨酸对夏季旱养肉鸭生长性能和免疫器官的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2013(1): 49-52. ZHU W, JIANG W, LI X J, et al. Effects of dietary arginine on growth performance and immune organs of dry-feeding meat ducks in summer [J]. Cereal & feed industry, 2013(1): 49-52 (in Chinese with English abstract).

## Effects of high temperature on behavior, growth performance and weeding control efficacy of meat duck in rice-duck co-culture

YE Shengqiang<sup>1</sup>, GONG Ping<sup>1</sup>, LIANG Zhenhua<sup>2</sup>, JIANG Yang<sup>3</sup>, GU Zemao<sup>4,5</sup>,  
YANG Yu<sup>1</sup>, WANG Lixia<sup>1</sup>, CHEN Xing<sup>1</sup>, QIAN Yunguo<sup>1</sup>

1. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430072, China;*

2. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;*

3. *College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

4. *Hubei Hongshan Laboratory, Wuhan 430070, China;*

5. *College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** 5 rice fields divided into one large field (T0, 2 hm<sup>2</sup>) and four small fields (T1–T4, each one was 0.33 hm<sup>2</sup>) in rice-duck co-culture were used to study the effects of high temperature in summer on the behavior, weeding control efficacy, and growth performance of Wuqin 10 meat ducks. Ducks were farmed at a density of 105–225 ducks/hm<sup>2</sup>, and the experiment was conducted from June 30th to August 31st. The occurrence and duration time of the behavior of duck including swimming, resting, and feeding in the field throughout the day, and its effects on weeding were continuously observed. The data on the outdoor temperature at 08:00 and 14:00 every day, the weight gain of ducks and feed consumption every week during the period of experiment were recorded. The results showed that the peak of duck's activity in the field occurred during the cooler periods of 05:00–10:00 and 15:00–19:00 under the condition of high temperature in summer. Ducks actively sought shade to cool off during the period of high temperature at noon. Ducks generally moved within a certain radius near the duck house, and there was almost no activity of duck at the distal region of T0 field far away the duck house. The effect of rice-duck co-culture on weeding was positively correlated with the frequency of ducks' activities in the field, and the significantly reduced frequency of ducks' activities in waterless areas resulted in poor effect of weeding. High temperature led to heat stress in ducks and significantly reduced the growth rate of ducks. It is indicated that Wuqin 10 meat ducks are suitable for the rice-duck co-culture, and its effect of weeding is positively correlated with the activity range of ducks. The high temperature in summer significantly affects the growth performance of ducks. Sunshade in sports fields, irrigation in rice fields and circular ditches can effectively alleviate the heat stress in ducks.

**Keywords** rice-duck co-culture; behavior of duck; weeding control efficacy; growth performance

(责任编辑:葛晓霞)