

Marcin W. LIS¹, Jacek AUGUSTYN², Agnieszka LISOWSKA-LIS³, Jerzy W. NIEDZIÓŁKA¹

¹ UNIWERSYTET ROLNICZY W KRAKOWIE WYDZIAŁ HODOWLI I BIOLOGII ZWIERZĄT, KATEDRA HODOWLI DROBIU, ZWIERZĄT FUTERKOWYCH I ZOOHIGIENY, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

² AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I ELEKTRONIKI, KATEDRA AUTOMATYKI, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

³ PAŃSTWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W TARNOWIE, INSTYTUT POLITECHNICZNY, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów

Próba zastosowania termografii do monitorowania rozwoju termoregulacji zarodków kurzych (*Gallus gallus*)

Dr inż. Marcin W. LIS

Doktor nauk rolniczych, zootechnik. Adiunkt w Katedrze Hodowli Drobiu, Zwierząt Futerkowych i Zoohigieny Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Zainteresowania naukowe obejmują biologię lęgów i technologię inkubacji jaj ptaków oraz szeroko rozumiany dobrostan zwierząt.



e-mail: rzlis@cyf-kr.edu.pl

Dr inż. Jacek AUGUSTYN

Adiunkt w Katedrze Automatyki AGH. Zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane z systemami wbudowanymi czasu rzeczywistego, systemami SoC oraz przemysłowymi systemami sterowania oraz zastosowaniami nowoczesnych metod pomiarowych w biologii. Jest autorem m.in. dwóch książek.



e-mail:

Dr inż. Agnieszka LISOWSKA LIS

Doktor nauk rolniczych, zootechnik. Starszy wykładowca w Instytucie Politechnicznym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie.



e-mail:

Prof. dr hab. lek wet. Jerzy W. NIEDZIÓŁKA

Profesor nauk rolniczych, lekarz weterynarii. Kierownik Katedry Hodowli Drobiu, Zwierząt Futerkowych i Zoohigieny Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Specjalista z zakresu zoohigieny, dobrostanu oraz biologii i technologii inkubacji jaj ptaków.



e-mail:

Streszczenie

Celem pracy było określenie przy pomocy pomiarów termowizyjnych tempa oddawania ciepła przez jajo kurze z rozwijającym się zarodkiem. Stwierdzono, że temperatura powierzchni skorupy jaja (EST) wzrasta w kolejnych etapach embriogenezy i może przewyższać temperaturę powietrza w inkubatorze. Niewielki spadek EST w 19. dobie inkubacji jaj umieszczonych w temperaturze pokojowej przez okres 15 minut, wskazuje na wykształcenie przez zarodek na tym etapie rozwoju zdolności ograniczonej termoregulacji.

Słowa kluczowe: termografia, zarodek kurzy, termoregulacja, embriogeneza.

Application of thermography to monitoring of thermoregulation development of chick embryo (*Gallus gallus*)

Abstract

The aim of this study was to investigate the rate of heat transfer by a hen's egg with a developing embryo with use of infrared measurements. The study was conducted on 600 eggs for hatching chicken Ross 308 broiler line. The eggs were incubated in the setter S576 Petersime® at the air temperature (T) equal to 37.8°C and relative humidity (RH) in the range 49-50%. Thermographic measurements of the eggshell surface temperature (EST) were taken with use of a thermal imaging camera ThermoVision A20 of a detector resolution 120x160 pixels. For statistical analysis of each egg there were used the EST highest values measured. Subsequent sessions were measured in the following days of incubation: E1, E3, E4, E7, E8, E9, E11, E12, E13, E16 and E19. Trays with eggs were removed from the incubator and placed at T = 22.4°C and RH = 75%, and recording of EST was performed: 1) immediately after removing the eggs from the incubator, 2) after 15 min, 3) after 30 min. It was found that the EST increased during the subsequent stages of embryogenesis. Before the start of the hatching process the temperature value may exceed the air temperature in the incubator by about 2°C. The increase in the surface temperature of the egg shell is particularly intense from the 10th day of embryogenesis, reflecting the intensification of metabolism of the embryo. The slight decrease in the crust surface temperature of eggs placed at the room

temperature for 15 minutes in the 19th day of incubation, compared to earlier stages of embryogenesis, shows that the embryo at this stage of development has the limited ability of thermoregulation.

Keywords: thermography, chick embryo, thermoregulation, embryogenesis.

1. Wstęp

Zainicjowanie rozwoju zarodka ptaków i jego dalszy przebieg uzależniony jest od energii cieplnej dostarczanej do jaja z wnętrza. W lęgach naturalnych źródłem ciepła jest nasiadka, natomiast w lęgach sztucznych ogrzane powietrze oraz promieniowanie termiczne grzałek inkubatorów [1, 2, 3, 4]. Przyjmuje się, że optymalna temperatura dla prawidłowego rozwoju zarodka kurzego wynosi 37,6 - 37,8°C z dopuszczalnym odchyleniem $\pm 0,15$ °C [5, 6, 7]. W rzeczywistości, preferencje termiczne zarodka zmieniają się jednak podczas embriogenezy, co jest związane ze stopniowym rozwojem systemu termoregulacyjnego i intensyfikacją metabolizmu zarodka [8]. Pierwsze symptomy tego procesu zauważalne są już w 3. dobie inkubacji (E 3). Od doby 10. produkcja ciepła jest już tak intensywna, że temperatura wnętrza jaja zaczyna przekraczać temperaturę inkubacji, zaś w E20 różnica ta sięga nawet 2°C [9, 10, 11, 12]. Dlatego niektórzy autorzy sugerują, że parametry inkubacji powinny być regulowane według wewnętrznej temperatury jaja [8, 9, 13], lub temperatury powierzchni skorupy jaja (*ang. eggshell temperature, EST*) różniące się od niej o 0,2 - 0,3°C [8,9]. Precyzyjnym i wygodnym sposobem pomiaru EST jest metoda termowizyjna [14, 15, 17]. Pozwala ona na równoczesny pomiar temperatury dużej partii jaj bezpośrednio na tacach lęgowych, porównanie różnic temperatur pomiędzy poszczególnymi jajami, a ponadto identyfikację jaj zamarłych, jaj o nieprawidłowej budowie lub niewłaściwie ułożonych na tacy lęgowej [14, 15].

Technologia inkubacji jaj kurzych przewiduje przynajmniej dwukrotne przerwanie ogrzewania i kilku-kilkunastominutowe pozostawienie jaj wylęgowych na hali lęgowej w temperaturze 22-25°C przy wilgotności powietrza 65-70% [5]. Uważa się, że

taka przerwa w inkubacji, nie wpływa negatywnie na dalszy przebieg rozwoju [13]. Należy jednak pamiętać, że w przypadku kury domowej układ termoregulacyjny rozwija się nadal w okresie neonatalnym, a pisklą nie wymaga dogrzewania dopiero po upływie trzech tygodni od wyklucia. W związku z powyższym interesującym wydawało się zbadanie, czy przy pomocy obrazu termograficznego powierzchni skorupy można monitorować tempo utraty ciepła przez jajo, a tym samym obserwować rozwój układu termoregulacyjnego zarodków kurzych.

2. Materiał i metody

Badania prowadzono w Zakładzie Wylęgu Drobii w Ściejowicach. Badaniami przeprowadzono na materiale 600 jaj wylęgowych pochodzących ze stada reprodukcyjnego kur linii mięsnej Ross 308. Masa jaj użytych w doświadczeniu wynosiła (średnia \pm odchylenie standardowe, (SD)): $63,2 \pm 5,69$ g. Każde z jaj zostało indywidualnie oznaczone, a następnie losowo nałożone na jedną z 4 tac lęgowych. Jaja były inkubowane przez 18,5 doby (od E1 do E18,5) w aparatach lęgowych S576 firmy Petersime® w temperaturze powietrza (T) $37,8^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej (RH) 49-50%, natomiast od E18,5 do zakończenia wylęgu (tj. ok. 21,5. dobie inkubacji) w komorze klujnikowej H192 firmy Petersime® w temperaturze $T = 37,2^\circ\text{C}$ a RH zmieniającej się wraz z wykluwaniem się kolejnych piskląt w zakresie od 50 do 70%.

Pomiary termograficzne temperatury powierzchni skorupy jaja (EST) były wykonywane przy pomocy kamery termowizyjnej A20 firmy FLIR Company o rozdzielczości detektora 120×160 pikseli. Rezultaty pomiarów przedstawione zostały z wykorzystaniem skali barwnej w formie termogramów, na których powierzchni o tej samej temperaturze charakteryzują się kolorem o tym samym nasyceniu barwy. Do analizy statystycznej wartości EST poszczególnych jaj użyto najwyższych wartości zmierzonych na ich powierzchni przy użyciu programu ThermaCAM-Researcher.

Sesje pomiarowe wartości EST przeprowadzono w kolejnych dobach inkubacji: E1, E3, E4, E7, E8, E9, E11, E12, E13, E16 i E19. Pomiary wartości EST wykonywano na zewnątrz inkubatora, w hali lęgowej w $T = 22,4^\circ\text{C}$ i $\text{RH} = 75\%$. Do pomiarów tace z jajami układano na blacie drewnianym na wysokości 1,2 m nad podłogą. W trakcie jednej sesji wykonywano trzykrotną rejestrację wartości EST: 1) natychmiast po wyjęciu jaj z inkubatora, a następnie po 2) 15 min i 3) 30 min. Po zakończonych pomiarach tace z jajami umieszczano ponownie w aparacie lęgowym.

Podczas trwania doświadczenia z tac nie usuwano jaj niezaplodnionych i z zamaryłymi zarodkami. Po zakończonym wylęgu przeprowadzono analizę embriopatologiczną jaj niewyklutych (tzw. odpadu powyłęgowego) określając przyczynę zamarcia i fazę rozwojową w momencie śmierci zarodka. Uzyskane wyniki analizy embriopatologicznej posłużyły do określenia różnic wartości EST pomiędzy jajami zawierającymi żywe zarodki i jajami „martwymi”.

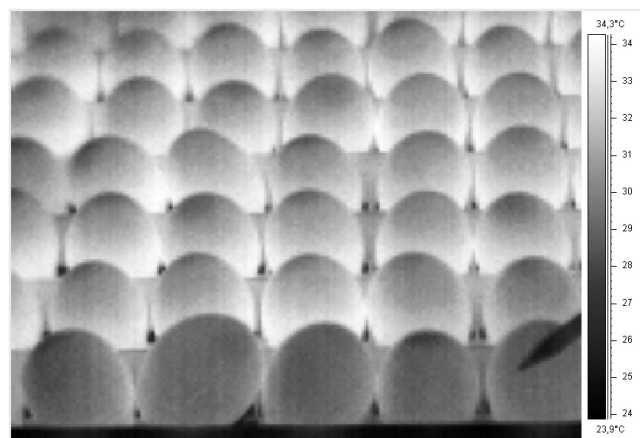
Analizę statystyczną przeprowadzono przy pomocy jednoczynnikowej analizy wariancji Kruskal-Wallis i pomocy testu Dunn'a. Do analizy wykorzystano program statystyczny Sigma Sat 2.03.

3. Wyniki i ich omówienie

Temperatura powietrza w aparacie lęgowym (*ang. machine temperature, MT*) zwykle wynosi $37,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$, i pozornie tyle też powinna wynosić temperatura powierzchni inkubowanego jaja (EST). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują jednak, że wartość EST może znacznie się różnić od wartości MT. W pierwszym dniu inkubacji wartość EST wynosiła (średnia \pm SD) $37,0 \pm 1,30^\circ\text{C}$, a następnie w każdej kolejnej dobie rozwoju wzrastała (Rys. 1 i 3). W początkowym okresie inkubacji wspomniane różnice wynikają z konieczności ogrzania silnie uwodnionej treści jaja (woda stanowi ok. 50% masy żółtka i 85% białka) z temperatury magazynu jaj (zwykle ok. 20°C) do temperatury inkubatora. Ponadto wewnątrz inkubatora występuje wzmożony

ruch powietrza związany z pracą wentylatorów, sprawia to że wartość EST jest niższa niż temperatura wewnętrzna jaj. Od drugiego tygodnia inkubacji wzrost wartości EST należy łączyć z rozwojem błon płodowych i układu krwionośnego zarodka.

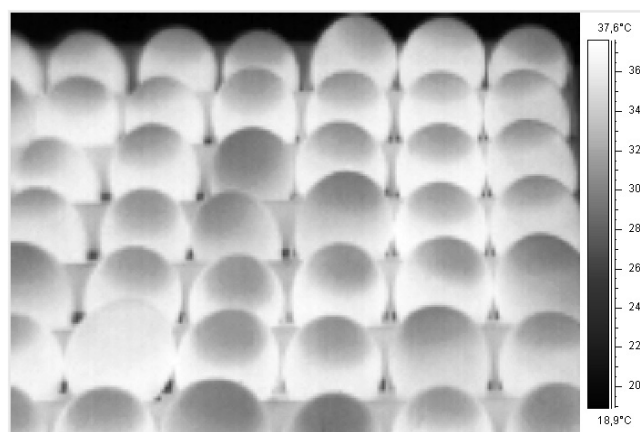
W okresie pomiędzy 5. a 10. dobą inkubacji wewnętrzną powierzchnię skorupy jaja zaczyna obrastać gęsto unaczyniona błona omocznio-kosmówki (*ang. chorio-allantois membrane, lat. chorioallantois, CAM*), która stopniowo przejmuje od woreczka żółtkowego funkcje narządu oddechowego zarodka [17, 18]. Zakończenie powiększenia się tej błony zbiega się z obserwowanym w badaniach przekroczenie przez EST wartości $37,8^\circ\text{C}$. W 10. dobie inkubacji produkcja ciepła przez zarodek szacowana jest na 25 - 30 mW, podczas gdy w 15.-16. dobie osiąga poziom ok. 130 mW, a w 18 dobie ok. 155 mW [9, 10, 19].



Rys. 1. Termograf tacy lęgowej z jajami kurzymi inkubowanymi przez 1 dobę

Fig. 1. Thermograph of incubation tray of hen eggs incubated for 1 day

Taki poziom produkcja ciepła zdaniem Lorens'a i in [9] może powodować wzrost wartości EST nawet o 5°C w stosunku do wartości MT (rys. 2). Dlatego, aby zapobiec przegrzaniu zarodków (hipertermii) technologia sztucznej inkubacji jaj kurzych przewiduje przed rozpoczęciem procesu wykluwania się piskląt obniżenie temperatury powietrza w inkubatorze do $37,2^\circ\text{C}$. Regulacja parametrów inkubacji następuje zwykle po zakończeniu 18. doby inkubacji i jest poprzedzona przekładem jaj z tac lęgowych do koszy klujnikowych (w przypadku lęgów wielkonakładowych wiąże się to dodatkowo z przeniesieniem jaj z aparatu lęgowego do komory klujnikowej).

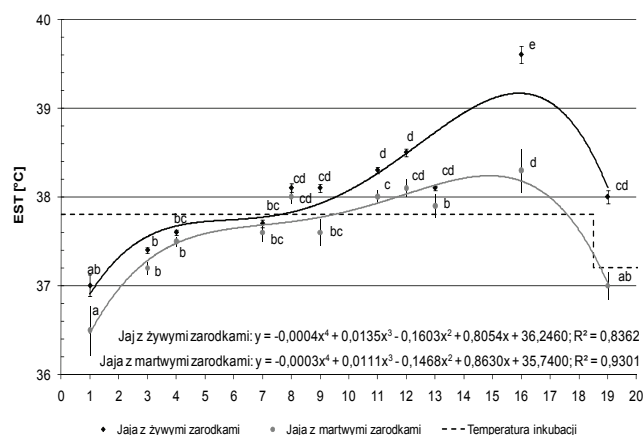


Rys. 2. Termograf tacy lęgowej z jajami kurzymi inkubowanymi przez 16 dni

Fig. 2. Thermograph of incubation tray of hen eggs incubated for 16 days

Można domniemywać, że obniżenie temperatury inkubacji jest jedną z przyczyn zaobserwowanego w badaniach spadku wartości EST z 39,6 °C w 16. dobie inkubacji do 38,0 °C w 19. dobie ($P \leq 0,05$; rys. 3). Ponadto zdaniem Turnera [12] oraz Romijina i Lokhorsta [19] tuż przed rozpoczęciem procesu przebijania się zarodka do komory powietrznej (tzw. nakluwania wewnętrzne, *ang internal pipping*), w E19 następuje niewielki spadek produkcji ciepła do 130 mW [12, 19]. Równocześnie zmienia się „skład” wnętrza jaja ponieważ przed rozpoczęciem procesu klucia zarodek połyka białko jaja zmieszane z płynem owodniowym, wciąga do jamy brzusznej woreczek żółtkowy i wypełnia skorupę swoim ciałem, przyjmując równocześnie charakterystyczne ułożenie w jaju z głową schowaną pod prawym skrzydłem i dziobem skierowanym do komory powietrznej [17].

Jajo z rozwijającym się zarodkiem, podobnie jak każde ciało fizyczne, umieszczone w niższej temperaturze oddaje energię ciepłą do otoczenia. Miarą stopnia ochładzania może być tempo i skala spadku temperatury ciała (Δ EST). Średni spadek temperatury jaj powierzchni jaj po 30 minutowym ich przebywaniu poza inkubatorem w temperaturze $T = 22,4$ °C wynosił 4°C-6°C (rys. 4). Największy wpływ na wartość EST miał jednak pierwszy kwadrans schładzania, co jest zgodne z obserwacjami Van Brecht'a i in. [20]. Podczas kolejnych 15 minut przebywania jaja poza aparatem lęgowym (pomiędzy 15 a 30 minutą schładzania) niezależnie od etapu embriogenezy następowało obniżenie wartości EST przeciętnie o 2 °C, a różnice między poszczególnymi doбами inkubacji nie przekraczały 0,8 °C ($p > 0,05$; rys. 4).

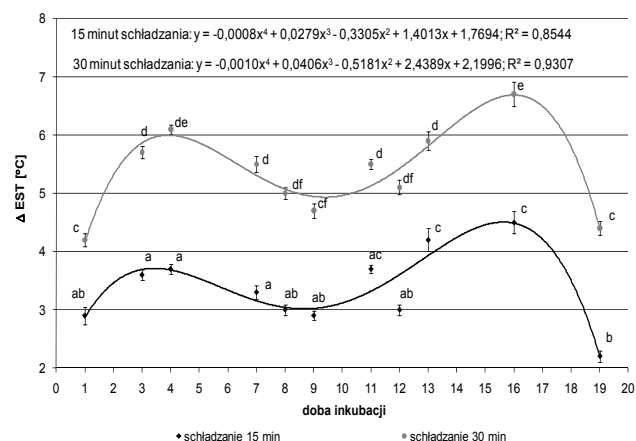


Rys. 3. Temperatura skorupy jaj w inkubatorze (EST, średnia \pm odchylenie standardowe) w kolejnych dniach inkubacji

Fig. 3. Eggshell temperature in incubator (EST, mean \pm standard deviation) in successive days of incubation

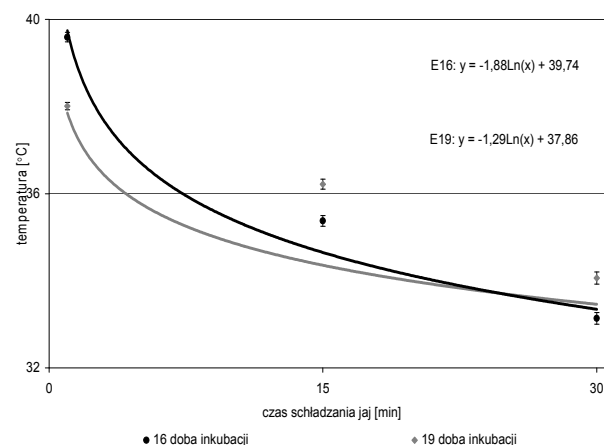
Niemniej jednak, na podstawie wartości Δ EST można wyróżnić podczas inkubacji kilka faz związanych tempem oddawania ciepła przez skorupę jaja. Pierwsza, przypada na początkowe kilkanaście godzin inkubacji, podczas których treść jaja osiąga właściwą temperaturę dla aktywowania rozwoju zarodka. Druga obejmuje okres pomiędzy 2 a 6 dobą inkubacji i charakteryzuje się spadkiem wartości EST o ok. 3,5 °C po 15 minutowym oraz o ok. 6 °C po 30 minutowym schładzaniu. Na tym etapie embriogenezy produkcja ciepła przez zarodek jest niewielka [10, 11, 19], a błona omocniowo-kosmówkowa (CAM) dopiero stopniowo się wykształca [17, 18]. Zakończenie wzrostu przez CAM, która obrasta skorupę jaja od wewnątrz i pełni funkcję właściwego narządu oddechowego zarodka, zdaje się być przyczyną mniejszego spadku wartości Δ EST w okresie pomiędzy 7. a 12. dobą inkubacji niż w okresie wcześniejszym. W tej fazie produkcja ciepła przez zarodek jest jednak wciąż niewystarczająca, aby wpłynąć na tempo oddawania ciepła przez zarodek [10, 11, 19]. Kolejną czwartą fazę, można wyznaczyć pomiędzy 13. a 17. dobą inkubacji. Zaobserwowany w tym okresie spadek wartości EST o 4,2°C po 15 minutach schładzania

może świadczyć o dużej wrażliwości zarodka na zakłócenie parametrów termicznych. Natomiast niewielki spadek wartości EST tylko o 0,8°C (do 36,2°C) w fazie okołolęgowej (E18 - E19) wskazuje, że u zarodka na tym etapie embriogenezy zaczynają już działać elementy mechanizmu termoregulacji [2, 8, 10, 11] (rys. 4 i 5). W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że wartość EST w E19 po dalszych 30 minutach schładzania obniżyła się o 2,2°C, czyli o podobną wartość, jak w przypadku jaj na wcześniejszym etapie embriogenezy inkubacji (rys. 4 i 5, $p < 0,05$). Można to interpretować, że zarodek w późnym etapie embriogenezy ma zdolność tylko do krótkotrwałej, ograniczonej termoregulacji.



Rys. 4. Różnica pomiędzy temperaturą skorupy jaja w inkubatorze a temperaturą skorupy jaja (średnia \pm odchylenie standardowe) po 15 i 30 minutach przebywania w 22,4°C (Δ EST) w kolejnych dniach inkubacji

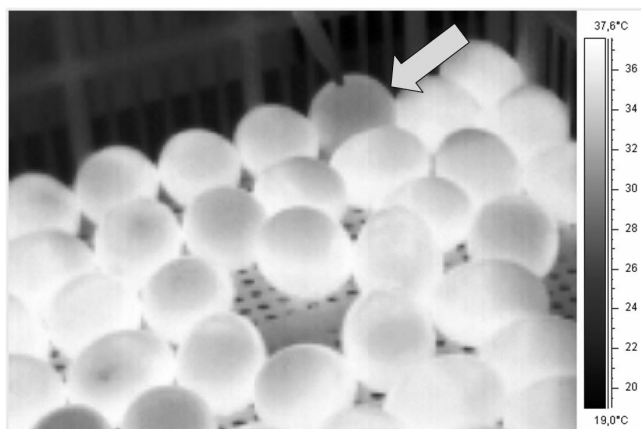
Fig. 4. Difference between the eggshell temperature in incubator and that of eggs placed at 22.4°C (mean \pm standard deviation) for 15 and 30 minutes (Δ EST) in successive days of incubation



Rys. 5. Tempo obniżania się temperatury powierzchni skorupy jaja w 16 i 19 dobie inkubacji umieszczonych w 22,4°C

Fig. 5. Rate of decreasing the eggshell temperature of egg in 16th and 19th day of incubation placed at 22.4°C

Podczas sztucznej inkubacji zawsze część nałożonych jaj jest niezapłodniona lub zawiera zarodki zamarte w różnych fazach embriogenezy. Jaja takie stanowią potencjalne zagrożenie sanitarne legu, dlatego powinny być jak najwcześniej zidentyfikowane i usunięte [1, 5]. W przeprowadzonych badaniach temperatura powierzchni skorupy jaj z martwymi zarodkami ulegała podobnej zmienności, lecz była zawsze niższa niż wartość EST jaj z żywymi zarodkami o ok. 0,5°C w okresie do 13. dobie inkubacji ($p > 0,05$) i o ok. 1 °C w okresie od 16. dobie inkubacji ($p \leq 0,05$) (rys. 3 i 6).



Rys. 6. Termograf kosza klujnikowego z jajami kurzymi inkubowanymi przez 19 dni. Strzałką zaznaczono jajo z zamartwym zarodkiem

Fig. 6. Thermograph of the hatching basket with hen eggs incubated for 19 days. The egg with mortally embryo is marked by the arrow

Reasumując, rezultaty przeprowadzonych badań wskazują, że analiza termograficzna temperatury skorupy jaja może stać się w przyszłości wygodnym narzędziem do bezkontaktowego śledzenia przebiegu embriogenezy zarodków ptasich, a także być pomocną przy rozpoznawaniu i brakowaniu jaj niezaplodnionych i zamartwych. Dlatego celowym wydaje się kontynuowanie badań nad wykorzystaniem metod termograficznych w badaniach nad biologicznymi i praktycznymi aspektami inkubacji jaj drobiu.

4. Wnioski

1. Temperatura powierzchni skorupy jaja, w którym rozwija się zarodek, wzrasta podczas kolejnych etapów embriogenezy. W okresie poprzedzającym rozpoczęcie procesów wykluwania jej wartość może przewyższać temperaturę powietrza w inkubatorze o ok. 2°C.
2. Wzrost temperatury powierzchni skorupy jaja jest szczególnie intensywny od 10 dnia embriogenezy, co jest odzwierciedleniem intensyfikacji metabolizmu zarodka.
3. Niewielki spadek temperatury powierzchni skorupy jaj w 19. dobie inkubacji, umieszczonych w temperaturze pokojowej przez okres 15 minut, w porównaniu do wcześniejszych etapów embriogenezy, wykazuje na wykształcenie przez zarodek na tym etapie rozwoju zdolność ograniczonej termoregulacji.
4. Temperatura powierzchni skorupy jaj z martwymi zarodkami jest niższa od powierzchni skorupy jaj z zarodkami żywymi. Różnica ta w ostatnim tygodniu inkubacji sięga 1°C, co umożliwia identyfikację jaj zamartwych.

5. Literatura

- [1] Niedziółka J.: Badania nad wpływem mikroklimatu komór klujnikowych na jakość piskląt kurzych lęzonych w aparatach halowych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie Kraków 161, 1991.
- [2] Deeming D. C., Ferguson M. W. J.: Physiological effects of incubation temperature on embryonic development in reptiles and birds. w Deeming C.D., Ferguson M.W. (red) Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles, Cambridge University Press. 285-304, 1991.

- [3] Vissechedijk A. H. J.: Physics and physiology of incubation. British Poultry Science. 32:3-20, 1991.
- [4] Suarez M. E., Wilson H. R., McPherson B. N., Mather F. B., Wilcox C. J.: Low temperature effects on embryonic development and hatch time. Poultry Science. 75:924-932, 1996.
- [5] Janowski T. M., Borzemska W., Niedziółka J., Jamiąłkowska G., Breik A. M., Herbut E. (1984): Wpływ mikroklimatu w aparacie Reform-Poldrob na przebieg lęgu jaj kurzych. Medycyna Weterynaryjna, 40: 115-119, 1984.
- [6] Lourens A., Van den Brand H, Heetkamp M.J.W., Meijerhof R, Kemp B.: Methabolic responses of chick embryos to short-term temperature fluctuations. Poultry Science, 85: 1081-1086, 2006.
- [7] Molenaar R., Hulet R., Meijerhof R., Maatjens C. M., Kemp B., van den Brand H.: High eggshell temperatures during incubation decrease growth performance and increase the incidence of ascites in broiler chickens. Poultry Science 90 :624-632, 2011.
- [8] French N. A.: Modelling incubation temperature: the effects of incubator design, embryonic development, and egg size. Poultry Science 76:124-133, 1997.
- [9] Lourens A, Van den Brand H, Meijerhof R, Kemp B. Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability, and posthatch development. Poultry Science. 84:914-920, 2005.
- [10] Lourens A., Molenaar R, Van den Brand H., Heetkamp M. J. W., Meijerhof R., Kemp B.: Effect of egg size on heat production and the transition of energy from egg to hatchling. Poultry Science 85:7709-776, 2006.
- [11] Lourens A, van den Brand H., Heetkamp M. J. W., Meijerhof R., Kemp B.: Effects of eggshell temperature and oxygen concentration on embryo growth and metabolism during incubation. Poultry Science 86:2194-2199, 2007.
- [12] Turnet J.S.: The thermal energetic of incubated birds egg. w Deming D.C, Ferguson M.W.J. Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles Cambridge University Press. 1991, 117-146.
- [13] Joseph N. S, Lourens A, Moran E. T. Jr.: The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. Poultry Science. 85:932-938., 2006.
- [14] Augustyn J., Lis M. W., Lisowska-Lis A., Tomza K., Byrski W.: The test of thermography application to monitoring of changes in eggshells temperature during incubation. Proc XXXIV ESNA Annual Meeting. Iasi. Romania: 173-178, 2006.
- [15] Lis M.W., Augustyn J., Torbus K., Lisowska-Lis A., Tomza K., Niedziółka J.W.: Thermographic measurements of eggshell temperature during incubation. Biologija Twarin, 10, 1-2, 133-142, 2008.
- [16] Hebrank J.H, Garrell M.: Methods and apparatus for candling avian eggs via thermal cameras. Unitet States Patent Application Publication. Pub. No: US 2008/0149033 A1, 2008.
- [17] Romanoff A.: The avian embryo. Structural and Functional Development. Macmillan Company. New York. ss. 1305, 1960.
- [18] Bielańska-Osuchowska Z.: Embriologia PWRiL, Warszawa, 2001 ss 600.
- [19] Romijin, C., Lokhorst W.: Foetal heat production in the fowl. Journal of Physiology. 150:239-249. 1960.
- [20] Van Brecht A., Hens H., Lemaire J.L., Aerts J.M., Degraeve P., Berckmans D.: Quantification of the heat exchange of chicken eggs. Poultry Science. 84:353-361, 2005.

otrzymano / received: 02.08.2011

przyjęto do druku / accepted: 05.09.2011

artykuł recenzowany