

Reproduction

ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE ET HISTOLOGIQUE DU TESTICULE DE LA CAILLE DU JAPON (*COTURNIX JAPONICA*) AU COURS DE LA CROISSANCE POST-NATALE

par

Mostapha FERROUK¹, Nouria BOUKENAOUI^{1,2}, Imen SMAILI¹,
Issam ABD AL SAMAD³ et Jean-Marie EXBRAYAT⁴

L'objectif de notre expérimentation a été d'étudier les modifications biométriques et histologiques du testicule de la caille japonaise (*Coturnix japonica*) au cours de la période postnatale. Dix cailleaux âgés de 1 jour après éclosion jusqu'à 8 semaines ont été utilisés. Le poids corporel, la longueur de l'aile pliée et du tarse, le volume et le poids testiculaire, le diamètre des tubes séminifères ont été mesurés une fois par semaine. Les résultats obtenus révèlent l'existence d'une corrélation positive entre le poids corporel ($r = 0,99$; $p < 0,001$), la longueur de l'aile pliée ($r = 0,94$; $p < 0,01$), la longueur du tarse ($r = 0,90$; $p < 0,01$), le volume testiculaire ($r = 0,90$; $p < 0,01$), le poids testiculaire ($r = 0,92$; $p < 0,01$), le diamètre des tubes séminifères ($r = 0,95$; $p < 0,01$) et l'âge. Les évolutions du poids corporel, de la longueur de l'aile pliée et du tarse, du volume et du poids testiculaire sont similaires pendant la croissance des cailleaux.

1. Université Saad Dahlab, Blida1, Institut des Sciences Vétérinaires, Laboratoire des Biotechnologies liées à la Reproduction Animale, BP 270, Route de Soumaa, Blida, Algérie.

2. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté des Sciences Biologiques, Laboratoire de Recherche sur les Zones Arides, BP 44, Alger Gare, 16000, Alger, Algérie.

3. Centre Hospitalier Intercommunal de Créteil, Laboratoire d'Anatomie et Cytologie Pathologiques, 40, avenue de Verdun, 94010 Créteil Cedex, France.

4. Université de Lyon, UMRS 449, Laboratoire de Biologie Générale, Université Catholique de Lyon, Reproduction et développement comparés, EPHE, 25 rue du Plat, F-69288 Lyon Cedex 02, France.

Corresponding authors: Ferrouk Mostapha, Jean-Marie Exbrayat.

Adresses électroniques : ferrouk_mostapha@yahoo.fr; jmexbrayat@univ-catholyon.fr

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

Un dimorphisme testiculaire en faveur du testicule gauche est observé à partir de la troisième semaine. L'étude histologique des testicules a révélé une augmentation progressive du diamètre des tubes séminifères et une spermatogenèse complète avec apparition de spermatozoïdes dans la lumière des tubes séminifères à l'âge de 6 semaines. En conclusion, l'âge de la maturité sexuelle (spermatogenèse complète) est observé chez des cailleteaux âgés de 6 semaines ayant en moyenne un poids corporel, une longueur de l'aile pliée et du tarse, un volume et un poids testiculaire de $138,0 \pm 4,8$ g, $10,9 \pm 0,1$ cm, $3,5 \pm 0,1$ cm, $643,6 \pm 154,3$ mm³ et de $889,8 \pm 118,7$ mg respectivement.

Mots-clés : Morphométrie, histologie, testicule, maturité sexuelle, caille japonaise, *Coturnix japonica*.

Morphometric and histological study of Japanese quail (*Coturnix japonica*) testis during postnatal growth

The biometrical and histological modifications in *Coturnix japonica* testis were studied during the post-natal period, in order to show the potential relationships between different parameters. Another aim was to determine the exact age of sexual maturity.

Ten quails, aged from 1 day to 8 weeks after hatching, were used. Body weight, length of the folded wing and tarsus, testicular weight and volume, and diameter of the seminiferous tubules were measured once a week. Length and width of both right and left testis were measured separately in order to calculate the volume of testis. Immediately after quails were euthanized, testes were fixed in 10 % buffered formalin, dehydrated with increasing concentrations of ethanol, submitted to xylene prior to being embedded in paraffin. 3 μ m sections were stained with haematoxylin-eosin and photographed, in order to be analyzed with an automatic method. Diameters of seminiferous tubules were measured for 50 circular tubules per sample using NIS-Elements BR 3.10 software. The results are presented as the average \pm ESM. Statistical validity was calculated using Fisher-Student's t test. The relation between two variables was estimated with "r" correlation coefficient.

One day after hatching, the average body weight was 7.7 ± 0.3 g, the length of the folded wing 2.2 ± 0.1 cm, the length of the tarsus 1.6 ± 0.3 cm and the testis weight, 0.001 g. In 2 weeks-old animals, the average volume of the testis was 3.7 ± 0.5 mm³ and the average diameter of seminiferous tubules was 30.0 ± 0.5 μ m. During growth, the increases in body weight, length of the folded wing and tarsus, weight and volume of testes, diameter of seminiferous tubules were similar. Such an evolution was observed in the same species by VATSALYA & ARORA (2012). Our results showed a positive and highly significant correlation ($p < 0.001$) between age and body weight ($r = 0.99$), testis volume ($r = 0.99$) and diameter of testis tubes ($r = 0.94$). A dimorphism has been observed between the left and right testis, the left one being more voluminous than the other after the animals reached an age of three weeks. Several authors have obtained comparable results in the same species (SKROBANEK *et al.*, 2009; VATSALYA & ARORA, 2012) and in other birds (NOIRAULT *et al.*, 2006; BHAVNA & GEETA, 2010). The histological investigations showed that the seminiferous cords can be observed at the periphery of testis one day after hatching. In 3 week-old animals, the lumen of the seminiferous tubules begins to form within the seminiferous cords. Comparable observations have been given by SCHEIB (1973) in the same species. Sexual maturity is attained at 6 weeks, when spermatozoa were observed in the lumen of the seminiferous tubules.

At this time, the average body weight is 138.0 ± 4.8 g, the folded wing length is 10.9 ± 0.1 cm, the tarsus length is 3.5 ± 0.1 cm, the testis weight 889.8 ± 118.7 mg and the average testis volume 643.6 ± 154.3 mm³.

Keywords: Morphometry, histology, testis, sexual maturity, Japanese quail, *Coturnix japonica*.

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

Introduction

La caille japonaise (*Coturnix japonica*) a été initialement domestiquée vers le XI^e siècle comme un animal de compagnie pour son chant (KAYANG *et al.*, 2004). Par la suite, elle a acquis une importance économique en élevage comme espèce produisant des œufs et de la viande appréciés pour leur saveur (KAYANG *et al.*, 2004). Outre son intérêt économique, la caille japonaise a été largement utilisée comme modèle animal pour la recherche scientifique. Elle est caractérisée par une croissance rapide, une maturité sexuelle précoce, un taux de production d'œufs élevé, un intervalle de génération court et par une durée d'incubation des œufs plus courte que celle de la poule (*Gallus gallus*) (KAUR *et al.*, 2008).

Plusieurs travaux portent sur l'évolution des paramètres biométriques (poids corporel, poids et volume testiculaires et protubérance cloacale), des paramètres biochimiques et hormonaux en relation avec l'âge et la maturité sexuelle chez la caille japonaise (MARIN & SATTERLEE, 2004 ; SEDQYAR *et al.*, 2008 ; VATSALYA & ARORA, 2012). Les travaux sur l'évolution histologique du testicule de *Coturnix japonica* au cours de la croissance postnatale sont par contre encore limités. Des informations histologiques mettent l'accent sur la spermatogenèse, la spermiogenèse et/ou la présence de spermatozoïdes matures (SCHEIB, 1973 ; AL-TEMEMY, 2010).

L'objectif du présent travail a été de réaliser un suivi de l'évolution des paramètres biométriques (poids corporel, longueur de l'aile pliée et du tarse, poids et volume testiculaires et diamètre des tubes séminifères) et histologiques du testicule au cours de la croissance postnatale de cailleaux *Coturnix japonica* mâles pour mettre en évidence les éventuelles relations qui existent entre ces différents paramètres et déterminer l'âge à la maturité sexuelle.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été menée sur des individus nés et élevés au Centre cyné-gétique de Zéralda, Algérie. Après éclosion des œufs, les cailleaux ont été transférés dans une poussinière préalablement réchauffée à une température comprise entre 38 et 40°C pendant la première semaine d'élevage. À partir de la deuxième semaine, la température a été graduellement diminuée jusqu'à atteindre 20 à 25°C à la quatrième semaine, température ensuite maintenue jusqu'à la fin de l'expérimentation. L'éclairage pratiqué était de type continu. L'eau et les aliments ont été distribués *ad libitum*.

Les paramètres mesurés ont été réalisés une fois par semaine chez dix cailleaux âgés de 1 à 56 jours, prélevés à partir du lot expérimental. Les cailleaux ont été pesés, chaque matin à la même heure, à l'aide d'une balance de précision (0,1 g) (AND EK-1200i). La longueur de l'aile pliée, correspondant à la distance entre la partie distale du carpe et le bout de la plus longue rémige primaire, a été mesurée à l'aide d'une règle métallique graduée de 30 cm (PETTINGILL, 1985). La longueur

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

du tarse, correspondant à la longueur de l'os tarso-métatarsien, a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse (CLARK, 1964).

Avant l'âge de 3 semaines, l'identification du sexe n'a pu être réalisée qu'à l'autopsie. Après avoir saigné les animaux, la longueur et la largeur du testicule droit et gauche ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse, puis les testicules ont été pesés séparément à l'aide d'une balance de précision (0,0001g) (AND-ER-180A). Immédiatement après, ils ont été fixés dans du formol dilué à 10 % dans du tampon PBS. Après 24 heures de fixation, les prélèvements ont été déshydratés dans des solutions d'éthanol à concentration croissante, éclaircis dans du xylène et inclus en paraffine. Des coupes de paraffine de 3 μm ont été confectionnées puis stockées à température ambiante jusqu'à l'analyse histo-morphométrique.

Le volume testiculaire a été calculé à partir d'un modèle mathématique assimilant le testicule à un corps de forme ovoïde (MOLLER, 1991) selon l'équation :

$$V(\text{cm}^3) = \frac{4}{3} \times \pi \times ab^2$$

avec a et b représentant la moitié du grand et petit diamètre testiculaire.

Analyse morphométrique des coupes histologiques des testicules

Les coupes histologiques ont été colorées à l'hématoxyline-éosine et observées au microscope photonique. Les images ont été capturées à l'aide d'une caméra connectée à un photo-microscope. Le diamètre des tubes séminifères a été mesuré sur 50 tubes circulaires pour chaque prélèvement en utilisant le logiciel NIS-Elements BR 3.10 (Microscope photonique Nikon Eclipse E 400 connecté à une caméra digitale Nikon DXM 1200).

Analyse statistique

Les résultats numériques sont présentés sous forme de moyenne \pm ESM. La validité statistique des différences entre les moyennes de deux séries expérimentales, a été calculée par le test « t » de FISHER-STUDENT (a : $p < 0,001$; b : $p < 0,01$; c : $p < 0,05$, non significatif : $p > 0,05$) et une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls. La relation entre deux variables a été estimée par le coefficient de corrélation « r ».

Résultats

Le poids corporel moyen, de $7,7 \pm 0,3$ g à un jour après l'éclosion (Figure 1), augmente de façon linéaire et continue ($r = 0,99$) jusqu'à $164,4 \pm 4,5$ g à l'âge de 56 jours avec une augmentation pondérale (+ 2035 %) hautement significative ($p < 0,001$).

La longueur moyenne de l'aile pliée est de $2,2 \pm 0,1$ cm à 1 jour après éclosion avec des valeurs individuelles extrêmes variant entre 1,9 et 2,5 cm (Figure 2). Au cours de la croissance, la longueur de l'aile augmente de +395 % entre 1 jour

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

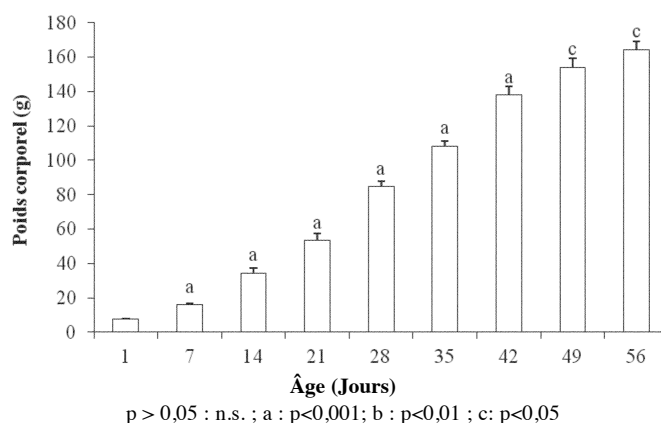


Figure 1

Évolution du poids corporel (g) au cours de la croissance post-natale. Différentes lettres pour chaque âge indiquent une différence significative ($P<0,05$) déterminée par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls.

Evolution of body weight (g) during post-natal growth.

Different letters for each age indicate a significant difference ($P<0,05$) determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) using a Student–Newman–Keuls post hoc test.

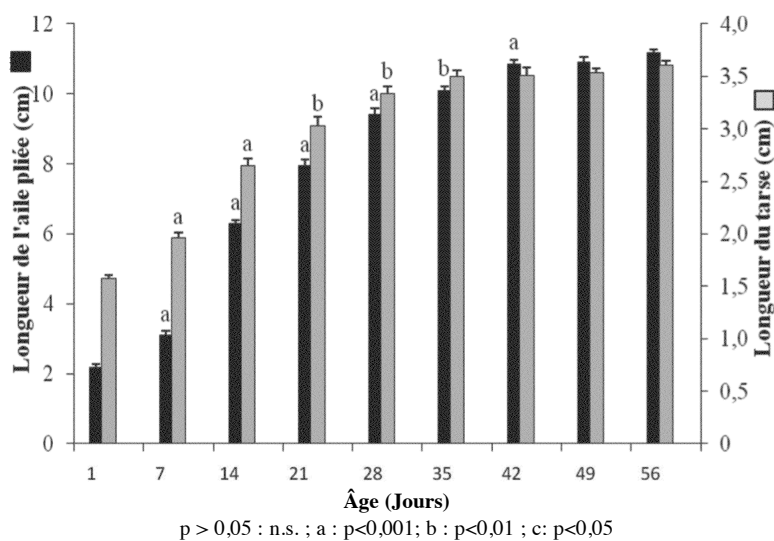


Figure 2

Évolution de la longueur l'aile pliée et du tarse (cm) au cours de la croissance post-natale. Différentes lettres pour chaque âge indiquent une différence significative ($P<0,05$) déterminée par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls.

Evolution of folded wing and tarsus length (in cm) during post-natal growth.

Different letters for each age indicate a significant difference ($P<0,05$) determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) using a Student–Newman–Keuls post hoc test.

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

après éclosion ($2,2 \pm 0,1$ cm) et 6 semaines d'âge ($10,9 \pm 0,1$ cm). La longueur maximale de l'aile pliée est atteinte à 7 semaines d'âge. La longueur de l'aile pliée est corrélée positivement avec l'âge ($r = 0,94$; $p < 0,001$).

La longueur moyenne du tarse, égale à $1,6 \pm 0,1$ cm à un jour après éclosion, montre une évolution linéaire et continue, atteignant $3,5 \pm 0,1$ cm à l'âge de 35 jours (Figure 2). Une augmentation hautement significative ($+118\%$; $p < 0,001$) est observée entre 1 jour après éclosion et 42 jours, puis elle est suivie d'une phase relativement stationnaire jusqu'à 56 jours (Figure 2). La longueur du tarse est en corrélation positive statistiquement hautement significative avec l'âge ($r = 0,91$; $p < 0,001$).

Le poids testiculaire moyen de $0,001$ g à un jour après l'éclosion présente une augmentation pondérale ($+33046\%$) hautement significative ($p < 0,001$) jusqu'à 56 jours (Figure 3). Entre le premier jour suivant l'éclosion et 21 jours, le poids moyen du testicule gauche est comparable à celui du testicule droit. Au-delà de cet âge, le testicule gauche présente un poids moyen supérieur à celui du droit (Figure 3). La corrélation entre le poids moyen du testicule droit et gauche est positive ($r = 1$; $p < 0,001$). Le poids testiculaire moyen est en corrélation positive avec l'âge ($r = 0,86$; $p < 0,01$) et le poids corporel moyen ($r = 0,85$; $p < 0,01$).

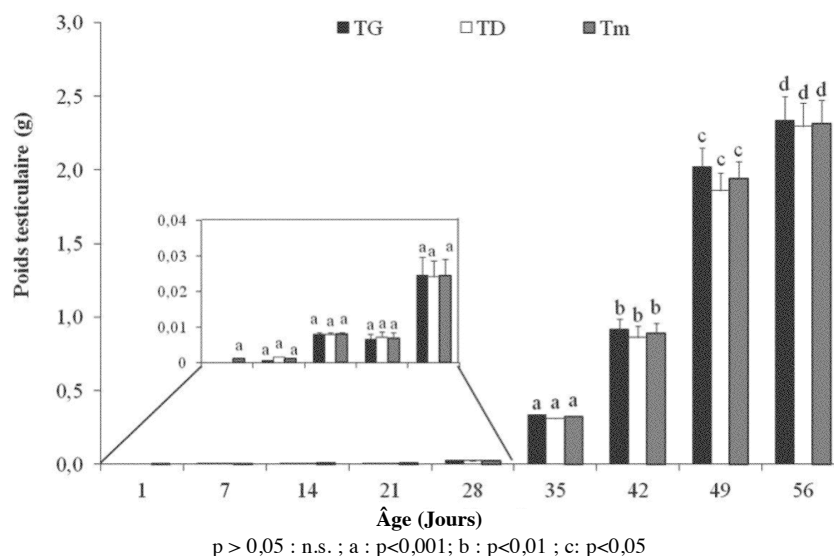


Figure 3

Évolution du poids testiculaire (g) au cours de la croissance post-natale. TG : poids du testicule gauche ; TD : poids du testicule droit ; Tm : poids testiculaire moyen.

Différentes lettres pour chaque âge indiquent une différence significative ($P < 0,05$) déterminée par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls.

Evolution of testis weight (in g) during post-natal growth. TG: weight of left testis; TD: weight of right testis; Tm: average weight of testis.

Different letters for each age indicate a significant difference ($P < 0,05$) determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) using a Student–Newman–Keuls post hoc test.

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

Le volume moyen des testicules, à l'âge de 14 jours, est de $3,7 \pm 0,5 \text{ mm}^3$. Au cours de la croissance, il augmente de façon très rapide et hautement significative (+27735% ; $p < 0,001$) jusqu'à l'âge de 56 jours (Figure 4). À partir de 14 jours, un dimorphisme testiculaire est observé en faveur du testicule gauche (Figure 4). Le volume testiculaire est en corrélation positive avec l'âge ($r = 0,90$; $p < 0,001$) et le poids corporel moyen ($r = 0,85$; $p < 0,01$).

Le diamètre moyen des tubes séminifères est de $30,0 \pm 0,5 \mu\text{m}$ à l'âge de 14 jours. Au cours du développement, il augmente faiblement de façon linéaire et continue jusqu'à 35 jours, puis de façon importante (+ 167,7 % ; $p < 0,001$) à l'âge de 42 jours (Figure 5). Le diamètre moyen des tubes séminifères est en corrélation positive avec l'âge ($r = 0,94$; $p < 0,01$), le poids corporel ($r = 0,93$; $p < 0,01$), le poids testiculaire ($r = 0,94$; $p < 0,01$), et le volume testiculaire ($r = 0,95$; $p < 0,01$).

L'analyse histologique du testicule montre la présence d'un épithélium de surface et d'une tunique albuginée à 1 jour après éclosion. Sous la tunique, le parenchyme testiculaire est constitué de noyaux des cellules présomatiques (appelées « pré-Sertoli ») et des cellules germinales primordiales. Les premiers cordons séminifères sont reconnaissables à la périphérie de la gonade (Figure 6a). De 7 à 14 jours, la tunique albuginée augmente en épaisseur et commence à se différencier en deux couches : une couche externe acellulaire fibreuse (*tunica fibrosa*) et une couche interne

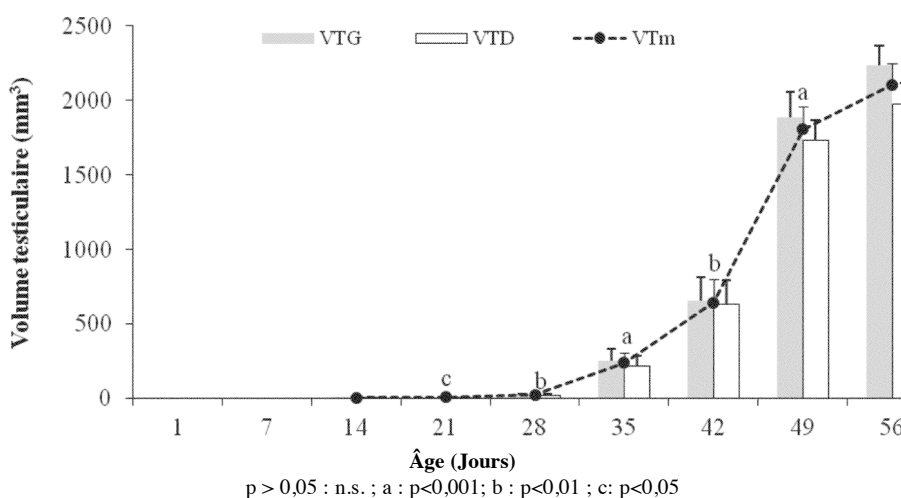


Figure 4

Évolution du volume testiculaire (mm^3) au cours de la croissance post-natale. VTG : volume du testicule gauche ; VTD : volume du testicule droit ; VTm : volume testiculaire moyen.

Différentes lettres pour chaque âge indiquent une différence significative ($P < 0,05$) déterminée par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls.

Evolution of testis volume (mm^3) during post-natal growth. VTG: volume of left testis; VTD: volume of right testis; VTm: average volume of testis.

Different letters for each age indicate a significant difference ($P < 0,05$) determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) using a Student–Newman–Keuls post hoc test.

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

cellulaire contenant plusieurs vaisseaux sanguins (*tunica vasculosa*) (Figure 6a). En profondeur, les cordons séminifères du parenchyme testiculaire sont entourés par une lame basale et une couche de cellules périvitubulaires. Ces cordons sont pleins et ne contiennent pas de lumière centrale. Les noyaux des cellules de pré-Sertoli sont sombres et de petite taille par rapport aux noyaux des cellules germinales primordiales. Les noyaux de ces dernières apparaissent plus clairs et de grande taille (Figure 6a). À 21 jours, de petits espaces commencent à se former à l'intérieur des cordons séminifères. Ils constituent l'ébauche de la future lumière qui transformera les cordons pleins en tubes séminifères (Figure 6b). Le tissu interstitiel subit ensuite une expansion. Les cordons séminifères sont progressivement séparés les uns des autres. Les cordons séminifères, délimités par une lame basale bien développée et entourés d'une couche de cellules périvitubulaires, contiennent des noyaux des cellules de Sertoli immature et des spermatogonies (cellules plus grandes et foncées). La position des spermatogonies par rapport à la lame basale est variable de la périphérie vers la lumière des cordons séminifères (Figure 6b). À 4 semaines, certains cordons séminifères commencent à acquérir une lumière centrale dans le compartiment tubulaire (Figure 6c). De 6 à 8 semaines, deux types de tissus parenchymateux sont observés : le tissu interstitiel et l'épithélium séminifère (Figure 6d). Le tissu interstitiel observé très réduit contient des vaisseaux sanguins et des cellules de Leydig. Ces dernières

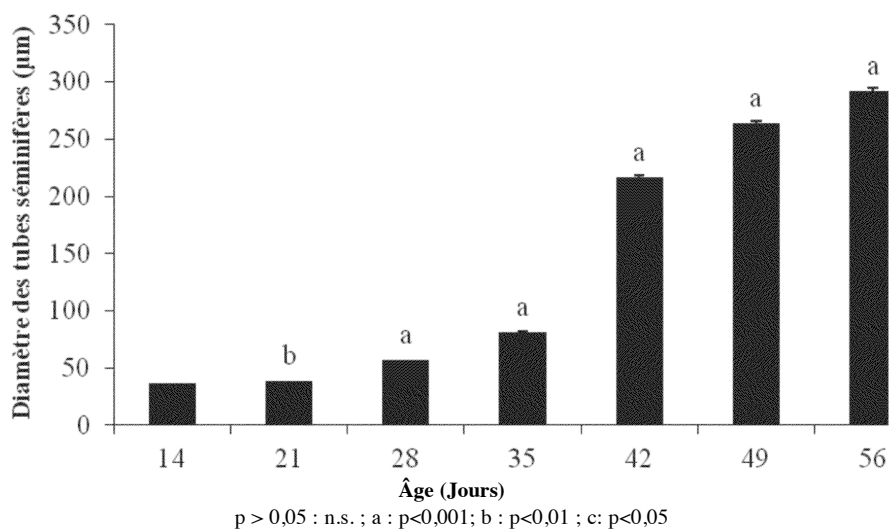


Figure 5

Évolution du diamètre des tubes séminifères (μm) au cours de la croissance post-natale. Différentes lettres pour chaque âge indiquent une différence significative ($P<0,05$) déterminée par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par un test post hoc Student-Newman-Keuls.

Evolution of the diameter (in μm) of the seminiferous tubules during post-natal growth. Different letters for each age indicate a significant difference ($P<0.05$) determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) using a Student–Newman–Keuls post hoc test.

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

sont rares, observées isolées ou en petits groupes dans l'espace interstitiel. Elles sont reconnues par leur noyau arrondi (Figure 6d). À 6 semaines, les tubes séminifères sont entourés d'une seule couche de cellules myoépithéliales aplaties (cellules myoïdes périvitubulaires ou cellules périvitubulaires) avec les caractéristiques des cellules musculaires lisses qui entourent les tubes séminifères. Outre les cellules myoépithéliales, du tissu conjonctif recouvre la lame basale des tubes séminifères (Figure 6d). À l'âge de 6 à 8 semaines (Figure 6d), dans tout les tubes séminifères, des cellules de Sertoli matures sont caractérisées par un noyau clair situé vers le centre de l'épithélium séminifère ou parfois collé à la lame basale et des cellules de la spermatogénèse (spermatogonies, spermatoocytes primaire et secondaire, spermatoïdes et spermatozoïdes) disposées de la périphérie jusqu'à la lumière des tubes séminifères.

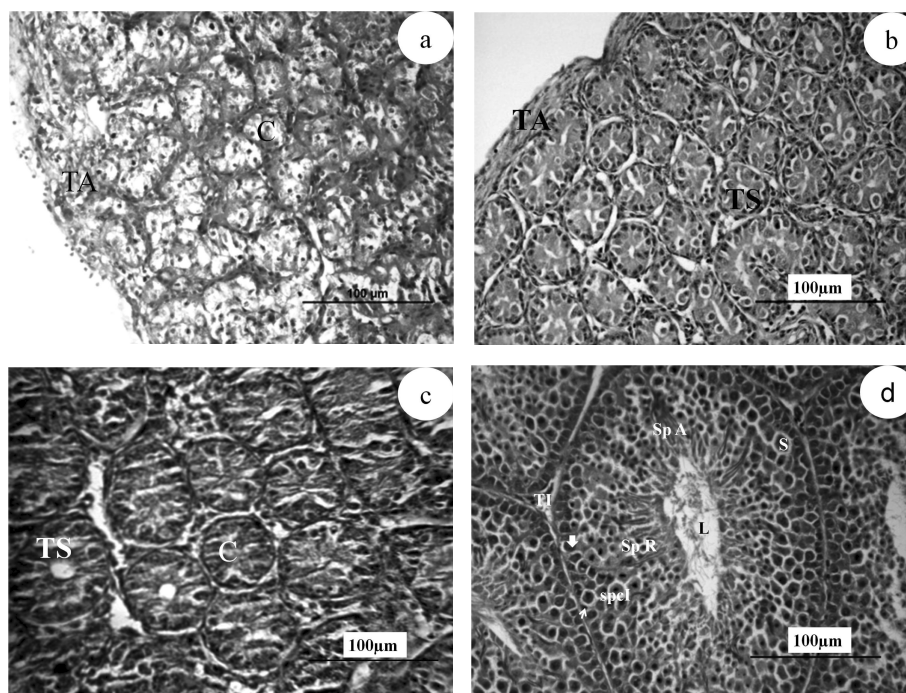


Figure 6

Histologie du testicule des cailleteaux mâles *Coturnix japonica*. a : 1 jour après éclosion, b : 21j, c : 28j, d : 36j. Abréviations : TA : tunique albuginée; C : cordons séminifères; TS : tube séminifère; L : lumière; S : noyau de la cellule de Sertoli; ↑ : spermatogonie A; ⇒ : spermatogonie B; Spc I : spermatoocyte I; SpR : spermatoïde ronde; SpA : spermatoïde allongée; TI : tissu interstitiel. Coloration : hémalum-éosine.

Histological structure of testis in young male Coturnix japonica, stained with hemalum-eosin. a: aged one day, b: aged 21 days, c: aged 28 days, d: aged 36 days. Abbreviations: TA: tunica albuginea; C: seminiferous cords; TS: seminiferous tubule; L: lumen. S: nucleus of Sertoli cell; ↑: spermatogonia A; ⇒: spermatogonia B; SpcI: spermatocyte I; SpR: round spermatid; SpA: elongated spermatid; TI: interstitial tissue. Staining: hemalum-eosin.

Discussion

Le poids corporel moyen de *Coturnix japonica* montre une augmentation linéaire continue dès 24 heures après l'éclosion jusqu'à l'âge de 8 semaines. Plusieurs auteurs ont rapporté le même profil d'évolution du poids corporel chez la caille *Coturnix japonica* (KIZILKAYA *et al.*, 2005, KIZILKAYA *et al.*, 2006 ; VATSALYA & ARORA, 2012). Un jour après l'éclosion, le poids corporel moyen ($7,7 \pm 0,3$ g) est comparable aux résultats rapportés par ALMEIDA *et al.* (2002) ; BALCIOGLU *et al.* (2005) ; ÖZBEY *et al.* (2006) ; DEYAB (2008) ; BERRAMA *et al.* (2011) ; VATSALYA & ARORA (2012) aussi bien pour les lignées de caille japonaise sélectionnées que non sélectionnées. À 3 semaines, âge du dimorphisme sexuel phénotypique (WOODARD *et al.*, 1973), le poids corporel moyen est inférieur à celui rapporté chez la caille japonaise de la lignée lourde et légère (BALCIOGLU *et al.*, 2005), de la lignée non sélectionnée (ALMEIDA *et al.*, 2002 ; BALCIOGLU *et al.*, 2005 ; ÖZBEY *et al.*, 2006 ; BERRAMA *et al.*, 2011) et de la lignée italienne (ALMEIDA *et al.*, 2002). À 6 semaines, âge de la maturité sexuelle (WOODARD *et al.*, 1973), le poids corporel moyen obtenu chez la caille mâle atteint une valeur de $138 \pm 4,8$ g. Les valeurs obtenues sont supérieures à celles qui ont été rapportées par ALMEIDA *et al.* (2002) et VATSALYA & ARORA (2012) chez la caille japonaise non sélectionnée ; par contre, en ce qui concerne le poids corporel, elles sont inférieures aux valeurs rapportées par BALCIOGLU *et al.* (2005) chez les lignées lourde et légère, par ÖZBEY *et al.* (2006), DEYAB (2008) et BERRAMA *et al.* (2011) chez la lignée non sélectionnée et par ALMEIDA *et al.* (2002) chez la lignée italienne. Les différences de poids corporel observées entre nos résultats et ceux rapportés par différents auteurs chez la caille japonaise à différents âges pourraient être dues à des différences de conditions d'élevage, de paramètres d'ambiance, d'alimentation, de conduite d'élevage et aussi à des différences génétiques.

Au cours de la croissance des cailliteaux, la longueur moyenne de l'aile pliée et du tarse montre une évolution linéaire jusqu'à l'âge de 6 et 7 semaines. SKROBANEK *et al.* (2004) ont rapporté des résultats identiques chez la même espèce.

Le poids testiculaire moyen de 1,10 mg observé chez les cailliteaux âgés d'une semaine est comparable à celui rapporté par VATSALYA & ARORA (2012). À l'âge de 6 semaines, un poids testiculaire moyen supérieur à 500 mg chez la caille japonaise est rapporté par MARIN & SATTERLEE (2004) ; SEDQYAR *et al.* (2008) ; SKROBANEK *et al.* (2009) et VATSALYA & ARORA (2012). Selon PURCELL & WILSON (1975), la maturité sexuelle est atteinte lorsque le poids testiculaire est de 500 mg, ce qui se traduit par une spermatogenèse complète observée en histologie. L'augmentation du poids des testicules est due cependant à l'augmentation de la longueur des tubes séminifères plutôt qu'à celle du diamètre (KAMAR, 1960). Le résultat de l'évolution du poids testiculaire au cours de l'âge chez les cailliteaux montre que la croissance des testicules est faible durant les 4 premières semaines après l'éclosion, puis modérée entre la quatrième et cinquième semaine, accélérée entre la cinquième et la septième semaine et faible de la septième à la huitième semaine. Une

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

évolution comparable a été décrite par SEDQYAR *et al.* (2008), SKROBANEK *et al.* (2009) et VATSALYA & ARORA (2012) chez la même espèce. Les résultats de la croissance testiculaire révèlent ainsi une première augmentation très importante du poids testiculaire entre la troisième et la quatrième semaine. Cette croissance serait due à une sécrétion de LH, responsable de la sécrétion de testostérone (SEDQYAR *et al.*, 2008) qui stimulerait la croissance des testicules en l'accéléralant. Un dimorphisme pondéral en faveur du testicule gauche est également rapporté chez cette même espèce à la troisième semaine par SKROBANEK *et al.* (2009) et VATSALYA & ARORA (2012) et chez d'autres espèces d'oiseaux comme le dindon *Meleagris gallopavo* (NOIRAUT *et al.*, 2006), le coq *Gallus domesticus* (BULL *et al.*, 2007) et l'oiseau *Jungle babbler* (BHAVNA & GEETA, 2010). Cette asymétrie testiculaire pourrait être liée à des contraintes d'espace à l'intérieur de la cavité abdominale du mâle, certains organes tels que le foie et le gésier étant positionnés asymétriquement pourraient limiter l'espace disponible pour la croissance de chaque testicule (WITSCHI, 1935). Cette asymétrie pourrait aussi être due à un nombre inégal de cellules germinales primordiales apparaissant durant la vie embryonnaire (HOCKING, 1992).

Deux semaines après l'éclosion, le volume moyen des testicules est supérieur à celui rapporté par VATSALYA & ARORA (2012) chez la même espèce. L'évolution du volume moyen des testicules montre une augmentation continue entre 2 et 8 semaines avec une première augmentation importante observée entre la troisième et la quatrième semaine. Le même profil d'évolution a été observé pour le poids testiculaire ; en effet, une corrélation positive hautement significative existe entre le poids et le volume testiculaire en fonction de l'âge ($r = 1,00$; $p < 0,001$). Nos résultats sont comparables à ceux rapportés par SKROBANEK *et al.* (2009) et VATSALYA & ARORA (2012) chez la caille japonaise. Cette augmentation du volume et du poids testiculaire serait principalement due à l'allongement et l'élargissement du diamètre des tubes séminifères et à une prolifération des cellules germinales (LOFTS & MURTON, 1973 ; BHAVNA & GEETA, 2010). À partir de quatre semaines, un dimorphisme testiculaire en faveur du testicule gauche est observé. Selon les résultats de VATSALYA & ARORA (2012), cette asymétrie du volume testiculaire en faveur du testicule gauche est plus évidente à partir du vingtième jour.

L'évolution du diamètre des tubes séminifères est comparable à celle qui a été rapportée par KAMAR (1960) chez le coq. L'augmentation du diamètre des tubes séminifères est due à leur allongement, lui-même lié à une prolifération et à un accroissement de la taille des cellules de Sertoli (SAUVEUR & REVIERS, 1988) et à l'apparition de la spermatogenèse (REVIERS, 1971).

Les résultats histologiques sont discutés par rapport à l'âge de maturité sexuelle, correspondant à l'apparition des premiers spermatozoïdes dans les tubes séminifères selon KAMAR (1960). L'analyse des observations histologique montre, 1 jour après l'éclosion, que le testicule est enveloppé d'un épithélium de surface et d'une tunique albuginée avec la présence d'un parenchyme testiculaire en profondeur. Ce parenchyme est constitué de cellules de pré-Sertoli (cellules de Sertoli immature) et de cellules germinales primordiales. Quelques cordons séminifères sont

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

reconnaissables à la périphérie du testicule. Selon AIRE & OZEGBE (2007), le développement de la tunique albuginée à la périphérie extrême de la gonade coïncide avec l'agrégation des cellules à la fois somatiques (pré-Sertoli) et germinales (cellule primordiale) pour former des cellules testiculaires qui seront les futurs cordons précurseurs des tubes séminifères. Les premiers cordons sont facilement reconnaissables à la périphérie de la gonade mâle alors que l'intérieur est constitué d'un réseau gonadique de cellules mésenchymateuses et polygonales à paroi mince.

Chez le poussin (*Gallus domesticus*), ZHANG *et al.* (2012) ont décrit que les tubes séminifères présentent un petit diamètre et ne possèdent pas de lumière centrale. Un grand nombre de cellules de Sertoli est localisé le long de la membrane basale des tubes séminifères, et un nombre réduit de spermatogonies est situé le long de la membrane basale ou dans la région centrale des tubes séminifères.

Chez l'autruche, certaines structures tubiformes similaires à des tubes séminifères sont entourées de nombreuses cellules germinales primordiales et de spermatogonies mais sans que soient notée la présence de tubes séminifères entièrement formés (WEI *et al.*, 2011).

Avant la maturité sexuelle, l'organisation générale de la structure histologique du testicule de la caille âgée de 1 à 5 semaines est identique à celle des autres espèces d'oiseaux. Le testicule est entouré par une capsule dense de tissu conjonctif. Chez les oiseaux, cette capsule testiculaire est composée de trois tuniques : une tunique externe mince, *tunica serosa* ; une tunique épaisse, *tunica albuginea* et une tunique très mince, *tunica vasculosa* d'après HODGES (1974). Nos observations histologiques ont révélé que le testicule de la caille contient deux types de tissus parenchymateux: le tissu interstitiel et l'épithélium séminifère. Le tissu interstitiel contient des vaisseaux sanguins, des cellules lymphatiques et des cellules de Leydig. Il n'y a pas de tissu interstitiel bien développé (septa) pour diviser les testicules en lobules parce qu'il y a très peu de tissu conjonctif entre les tubes séminifères adjacents et les cellules de Leydig. Des observations comparables ont été rapportées chez la caille (SCHEIB, 1973 ; AL-TEMEMY, 2010), le coq (ZHANG *et al.*, 2012) , le dindon (BAKST *et al.*, 2007), l'autruche (WEI *et al.*, 2011) où les cellules de Leydig ont été trouvées isolées ou en petits groupes, principalement dans les espaces larges du tissu interstitiel. Ces cellules sont caractérisées par un noyau acidophile arrondi de petite taille et un cytoplasme à l'aspect souvent mousseux. À 3 semaines, de petits espaces commencent à se former à l'intérieur des cordons séminifères. Ils constituent l'ébauche de la future lumière qui transformera le cordon séminifère plein en tube séminifère. Des observations comparables ont été décrites par SCHEIB (1973) chez le poussin de la caille japonaise. À 4 semaines, quelques tubes séminifères sont identifiés par la présence d'une lumière centrale dans le compartiment tubulaire.

À la maturité sexuelle, de 6 à 8 semaines, les tubes séminifères sont organisés sous forme d'un épithélium séminifère pluristratifié contenant deux types de cellules : les cellules de Sertoli matures et les cellules germinales révélant une spermatogenèse complète. La structuration globale des tubes est caractérisée par une formation complexe et très anastomotique, est comparable à celle de *Coturnix coturnix*

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

(AL-TEMEMY, 2010) et d'autres espèces d'oiseaux (DEVICHE *et al.*, 2011 ; ZHANG *et al.*, 2012) mais différente de celle des mammifères. Les tubes séminifères observés à cette période sont délimités extérieurement par une seule couche de cellules polygonales aplaties, cellules myoïdes ou péritubulaires, avec des caractéristiques musculaires lisses. Cette observation est en accord avec les résultats de ROTHWELL & TINGARI (1973) qui décrivent de minces couches concentriques de cellules myoépithéliales, des fibroblastes et des fibres de tissu conjonctif recouvrant la lame basale du tube séminifère. Les tubes séminifères des testicules de *Coturnix japonica* sont délimités par un épithélium stratifié formé par des cellules germinales et des cellules de Sertoli. Les spermatogonies sont les cellules les plus immatures de la spermatogenèse ; ce sont de petites cellules rondes avec un noyau sombre et rond, qui se trouvent à la limite de la lame basale. Les trois types de spermatogonies observés ont été rapportés par BAKST *et al.* (2007) chez le dindon adulte. Ces cellules subissent des divisions mitotiques et forment des spermatocytes primaires, grandes cellules dont le noyau montre souvent une chromatine distincte. Ces derniers sont facilement reconnaissables par leur taille plus grande par rapport aux autres cellules de l'épithélium séminifère (BAKST *et al.*, 2007). Les spermatocytes primaires subissent la première division méiotique donnant lieu aux spermatocytes secondaires, qui sont rarement observés puisqu'ils subissent la deuxième division méiotique peu de temps après leur apparition, conduisant ainsi à des spermatides haploïdes.

Les spermatides précoces (ou rondes) sont de petite taille de forme arrondie avec un noyau pâle et sont réunies sous forme de grappes dirigées vers la lumière du tube séminifère. Les spermatides tardives (ou allongées) sont caractérisées par une petite taille ; leur forme est ovale ou allongée, avec une tête sombre et longue et une queue qui fait saillie dans la lumière des tubes séminifères. Ces cellules sont libérées à partir de l'épithélium séminifère devenant alors spermatozoïdes. Ces observations sont en accord avec celles de LIN *et al.* (1990) et LIN & JONES (1993) qui décrivent la spermatogenèse chez les oiseaux et les mammifères. La spermatogenèse est caractérisée d'abord par une série de divisions mitotiques des spermatogonies pour donner des spermatocytes primaires et des spermatocytes secondaires. Ces cellules subissent une division méiotique aboutissant à la formation des spermatides. Ces dernières se différencient pour former des cellules mobiles, les spermatozoïdes.

Les cellules de Sertoli sont de grande taille, formant des colonnes qui s'étendent de la lame basale à la limite luminale de l'épithélium séminifère. COOKSEY & ROTHWELL (1973) et de REVIERS *et al.* (1980) rapportent que les cellules de Sertoli des volailles sont généralement similaires à celles qui ont été décrites chez les mammifères. Ces cellules ont un noyau généralement irrégulier et un nucléole de taille très importante ; ce noyau est situé à proximité de la lame basale chez la plupart des oiseaux, sauf chez l'autruche où il se trouve dans la partie médiane de la cellule. Chez le coq, les cellules de Sertoli possèdent moins de contacts avec la lame basale que chez les mammifères. Ces cellules de Sertoli jouent un rôle important dans la détermination de la taille des testicules, le nombre de cellules germinales et le taux de production de sperme chez l'adulte (BOZKURT *et al.*, 2007).

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

En conclusion, le poids corporel, le volume et le poids testiculaires et le diamètre des tubes séminifères sont en corrélation positive et présentent une augmentation importante à l'âge de 6 semaines associée à une spermatogenèse complète. Ce type d'information devrait être utile aux chercheurs menant diverses études expérimentales sur la caille japonaise lorsqu'elle est prise comme modèle pour évaluer les effets des perturbateurs endocriniens et environnementaux sur la fonction de reproduction.

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur M. Gouichiche, directeur du Centre cynégétique de Zéralda et son personnel pour leurs collaborations dans la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES

- AIRE, T.A. & OZEGBE, P.C. (2007).- The testicular capsule and peritubular tissue of birds: morphometry, histology, ultrastructure and immunohistochemistry. *J. Anat.*, **210** (6), 731-740.
- ALMEIDA, M.I.M., OLIVIERA, E.G., RAMOS, P.R., VEIGA, N. & DIAS, K. (2002).- Growth performance of meat male quails (*Coturnix* sp.) of two lines under nutritional environments. *Arch. Vet. Sci.*, **7**, 103-108.
- AL-TEMEMY, H.S.A. (2010).- Histological study of testis in quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Al-Anbar J. Vet. Sci.*, **3**, 36-44.
- BALCIOĞLU, M.S., KIZILKAYA, K., YOLCU, H.I. & KARABAĞ, K. (2005).- Analysis of growth characteristics in short-term divergently selected Japanese quail. *South Afr. J. Anim. Sci.*, **35**, 83-89.
- BAKST, M.R., AKUFFO, V., TREFIL, P. & BRILLARD J.P. (2007).- Morphological and histochemical characterization of the seminiferous epithelial and Leydig cells of the turkey. *Anim. Reprod. Sci.*, **97**, 303-313.
- BERRAMA, Z., MEFTI, H., KAIDI, R. & SOUAMES, S. (2011).- Caractérisation zootechnique et paramètres génétiques des performances de croissance de la caille japonaise *Coturnix japonica* élevée en Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, **23**, Article #3.
- BHAVNA, B. & GEETA, P. (2010).- Histological and histomorphometric study of gametogenesis in breeders and helpers of sub-tropical, co-operative breeder jungle babbler, *Turdoides striatus*. *J. Cell Anim. Biol.*, **4**, 81-90.
- BOZKURT, H.H., AKTAS, A., ULKAY, M.B. & FIRAT, U.B. (2007).- Sertoli cell proliferation during the post hatching period in domestic fowl. *J. Vet. Sci.*, **8** (3), 219-222.
- BULL, M.L., MARTINS, M.R.F.B., CESARIO, M.D., PADOVANI, C.R. & MENDES, A.A. (2007).- Anatomical study on domestical fowl (*Gallus domesticus*): Reproductive system. *Int. J. Morphol.*, **25**, 709-716.
- CLARK, G.A. Jr. (1964).- Ontogeny and evolution in the megapodes (Aves: Galliformes). *Postilla, Yale Peabody Mus. Nat. Hist.*, **78**, 1-37.
- COOKSEY, E.J. & ROTHWELL, B. (1973).- The ultrastructure of the Sertoli cell and its differentiation in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *J. Anat.*, **114**, 329-345.
- DEVICHE, P., HURLEY, L.L. & BOBBY FOKIDIS. H. (2011).- Avian testicular structure, function, and regulation. In: *Hormones and Reproduction in Vertebrates : Birds*, D.O. Norris & K.H. Lopez (eds.), Elsevier, (vol. 4), 27-70.

Morphométrie et histologie du testicule de *Coturnix japonica*

- DEYAB I.M.A.-S. (2008).- *Divergent selection for growth and egg production traits in Japanese quail*. Ph. D. Agricultural Sciences, Al-Azhar University, Cairo, Egypt, 90 p.
- HOCKING, P.M. (1992).- Bilateral testicular asymmetry and supernumerary testes in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Br. Poult. Sci.*, **33**, 455-460.
- HODGES, R.D. (1974).- *The Histology of the Fowl*. London: Academic Press, 648 p.
- JONES, R.C. & LIN, M. (1993).- Spermatogenesis in birds. *Oxf. Rev. Reprod. Biol.*, **15**, 233-264.
- KAMAR, G.A.R. (1960).- Development of the testis tubule in the fowl. *Quart. J. Micr. Sci.*, **101**, 401-406.
- KAUR, S., MANDAL, A.B., SINGH, K.B. & KADAM, M.M. (2008).- The response of Japanese quails (heavy body weight line) to dietary energy levels and graded essential amino acid levels on growth performance and immuno-competence. *Livestock Sci.*, **117**, 255-262.
- KAYANG, B.B., VIGNAL, A., INOUE-MURAYAMA, M., MIWA, M., MONVOISIN, J.L., ITO, S. & MINVIELLE, F. (2004).- A first generation micro-satellite linkage map of the Japanese quail. *Anim. Gen.*, **35**, 195-200.
- KIZILKAYA, K., BALCIOĞLU, M.S., YOLCU, H.I. & KARABAĞ, K. (2005).- The application of exponential method in the analysis of growth curve for Japanese quail. *Arch. Geflügelk.*, **69**, 193-198.
- KIZILKAYA, K., BALCIOĞLU, M.S., YOLCU, H.I., KARABAĞ, K. & GENÇ, I.H. (2006).- Growth curve analysis using nonlinear mixed model in divergently selected Japanese quails. *Arch. Geflügelk.*, **70**, 181-186.
- LIN, M., JONES, R.C. & BLACKSHAW, A.W. (1990).- The cycle of the seminiferous epithelium in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) and estimation of its duration. *J. Reprod. Fertil.*, **88** (2), 481-490.
- LIN, M. & JONES R.C. (1993).- Spermiogenesis and spermiation in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *J. Anat.*, **183** (Pt 3), 525-535.
- LOFTS, B. & MURTON, R.K. (1973).- Reproduction in birds. In: *Avian Biology*. Ed. Farner DS & King JR, Academic Press Inc, NY, 3, 5-40.
- MARIN, R.H. & SATTERLEE, D.G. (2004).- Cloacal gland and testes development in male Japanese quail selected for divergent adrenocortical responsiveness. *Poult. Sci.*, **83**, 1082-1034.
- MOLLER, A.P. (1991).- Sperm competition, sperm depletion, paternal care, and relative testis size in birds. *Am. Nat.*, **137**, 882-906.
- NAIM, M., NOOR, H.M., KASIM, A. & ABU, J. (2010).- Growth performance of nestling barn owls, *Tyto Alba javanica* in rat baiting area in Malaysia. *J. Agric. Biol. Sci.*, **5** (6), 1-13.
- NOIRAULT, J., BRILLARD, J.P. & BAKST, M.R. (2006).- Spermatogenesis in the turkey (*Meleagris gallopavo*): Quantitative approach in immature and adult males subjected to various photoperiods. *Theriogenology*, **65**, 845-859.
- OZBEY, O., YILDIZ, N. & ESEN F. (2006).- The effects of high temperature on breeding characteristics and the living strength of the Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Int. J. Poult. Sci.*, **5**, 56-59.
- PETTINGILL, O.S. Jr. (1985).- Ornithology in laboratory and field. Burgess, Minneapolis, Minnesota, USA, Academic Press Inc., 378-380.
- PURCELL, S.M. & WILSON, W.O. (1975).- Growth and maturation of testes in young coturnix and modification by exogenous FSH, LH and testosterone – A stereologic evaluation. *Poult. Sci.*, **54**, 1115-1122.
- REVIERS, M. de (1971).- Le développement testiculaire chez le coq. I. Croissance pondérale des testicules et développement des tubes séminifères. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **11** (4), 519-530.
- REVIERS, M. de, HOCHEREAU-DE REVIERS, M.T., BLANC, M.R., BRILLARD, J.P., COUROT, M. & PELLETIER J. (1980).- Control of Sertoli and germ cell populations in the cock and sheep testes. *Reprod. Nutr. Dev.*, **20** (1B), 241-9.

Bulletin de la Société zoologique de France 140 (1)

- ROTHWELL, B. & TINGARI, M.D. (1973).- The ultrastructure of the boundary tissue of the seminiferous tubule in the testis of the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *J. Anat.*, **114**, 321-328.
- SAUVEUR, B. & REVIERS, M. de (1988).- *Reproduction des volailles et production d'œufs*. Ed. Quae, 449 p.
- SCHEIB, D. (1973).- Les cellules sécrétrices testiculaires du poussin de la caille japonaise : Différenciation de leur ultrastructure et rapport avec leurs potentialités stéroïdogènes. *Dev. Growth Diff.*, **15**, 315-328.
- SEDQYAR, M., WENG, Q., WATANABE, G., KANDIEL, M.M., TAKAHASHI, S., SUZUKI, A.K., TANEDA, S. & TAYA, K. (2008).- Secretion of inhibin in male japanese quail (*Coturnix japonica*) from one week of age to sexual maturity. *J. Reprod. Dev.*, **54**, 100-106.
- SKROBANEK, P., HRBATA, M., BARANOVSKA, M. & JURANI, M. (2004).- Growth of Japanese quail chicks in simulated weightlessness. *Acta Vet. Brno*, **73**, 157-164.
- SKROBANEK, P., BARANOVSKA, M., SARNIKOVA, B., JURANI, M., ZEMAN, M. & CIGANKOVA, V. (2009).- Effect of Simulated Microgravity on Sexual Development of Male Japanese quail. *Acta Vet. Brno*, **78**, 563-569.
- VATSALYA, V. & ARORA, K.L. (2012).- Allometric growth of testes in relation to age, body weight and selected blood parameters in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Int. J. Poult. Sci.*, **11**, 251-258.
- WEI, L., PENG, K.M., LIU, H., SONG, H., WANG, Y. & TANG, L. (2011).- Histological examination of testicular cell development and apoptosis in the ostrich chick. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, **35**, 7-14.
- WITSCHI, E. (1935).- Origin of asymmetry in the reproductive system of birds. *Am. J. Anat.*, **56**, 119-141.
- WOODARD, A.E., ABPLANALP, H., WILSON, W.O. & VOHRA, P. (1973).- *Japanese quail husbandry in the laboratory (Coturnix coturnix japonica)*. Department of Avian Sciences, University of California, Davis, CA 95616. <http://animalscience.ucdavis.edu/Avian/Coturnix.pdf>
- ZHANG, X.Y., WEN, X.X., ZHAO, L. & HE, J.P. (2012).- Immunolocalization of Smad 4 protein in the testis of domestic fowl (*Gallus domesticus*) during postnatal development. *Acta Histochem.*, **114**, 429-433.

(reçu le 16/06/2014 ; accepté le 16/12/2014)