

研究紹介

ウズラの育種ならびに飼料, 栄養

佐藤 勝 紀

(応用動物科学コース)

Breeding, Feed, and Nutrition of Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*)

Katsunori Sato

(Course of Applied Animal Science)

This report summarizes research achievements on the breeding, feed, and nutrition of Japanese quail performed at the Laboratory of Animal Genetics and Breeding, Department of Agriculture, Okayama University, between 1973 and 2008.

The study included analysis of inbreeding depression and heterosis, which are important subjects in breeding. Secondly, the genetic parameters useful for selection were identified and the sexing of newborn chicks utilizing sex-linked inheritance was investigated. As problems related to feed and nutrition, the reduced excretion of nitrogen (N) and phosphorus (P), the utilization of a cochineal residue, and the effects of red salmon astaxanthin, palm oil, and astaxanthin supplementation on eggs functions were investigated.

In quail, inbreeding depression was noted in overall productive characters, and the depression was marked in reproductive characters, such as hatchability. The genetic load was calculated using the equation: $-\log_e S = A + BF$. On crossbreeding between highly inbred lines of Japanese quail, marked heterosis was noted in the hatchability, viability, and egg production rate.

Analysis of early embryonic development showed that the number of mitotic cells, mitotic index, and ^3H -thymidine and ^3H -uridine uptakes were lower in the inbred embryos compared with those of hybrid embryos, indicating important metabolic differences.

Basic information for the selective breeding of quail, heritability of characters, such as the body weight, muscle mass, skeleton, and egg characteristics were accumulated; accumulated information suggested the possibility of selective breeding with regard to these characters.

Sexing of newborn quail chicks utilizing sex-linked inheritance was performed. Mating males of the brown line and females of the normal line, all male chicks had normal plumage colors, whereas all females had brown plumage colors, which allowed simple sexing.

The supplementation of low-CP feed with essential amino acids and low-CP, low-P feed with phytase improved the growth of chicks, increased the egg production rate, and reduced N and P excretions. Phytase supplementation enhanced tibial growth in the early growth period, and reduced perosis and the mortality of chicks. When female chicks were fed a cochineal residue at 6 weeks of age, the egg production rate was similar to that of chicks fed fish meal, showing the possibility of substitution with fish meal.

The yolk color was improved by supplementation with red salmon astaxanthin, palm oil, and astaxanthin. The yolk color improved with increases in the supplemented amounts of palm oil and astaxanthin. Astaxanthin added to feed was transferred to the egg yolk, and the antioxidative capacity improved as the amount added increased.

To further clarify the characteristics of quail as experimental animals, and to improve their productivity as live-stock, a continuation in both basic and applied research is indispensable.

Key words : Japanese quail, inbreeding depression, heterosis, genetic parameters, N and P excretions

はじめに

岡山大学農学部家畜育種学教室では1973年からウズラの育種ならびに飼料, 栄養に関する研究に取り組んできた。本研究で取り上げたウズラ (*Coturnix coturnix japonica*) は鶏の実験動物として利用され, また卵・肉を目的とした産業・経済動物として飼育されている。

本研究では, はじめに育種学上, 重要な課題である近交退化と雑種強勢の解析を試み, つぎに選抜の指標となる遺伝的パラメータを推定するとともに伴性遺伝を利用した初生雛の雌雄鑑別について検討した。飼料, 栄養に関係した課題として, 排泄窒素・リン量の低減化, コチニール残渣の利用さらにピヨーネ果皮, 紅鮭アスタキサンチン, パーム油, アスタキサンチン添加による卵への機能性の付与を取り上げ検討したので, その内容について紹介する。

1. 研究の背景

ウズラは強健で, 飼育管理が容易であり, その上, 世代回転が早く, かつ多産性であるという特徴を持っていることから, 鶏の実験動物として畜産学はもちろんのこと, 獣医学, 医学, 薬学, 生物学などの広範囲な研究分野で使用されてきている。実験動物の分野では遺伝的に均一な近交系の作出, 維持が行われている。ウズラは近交系の作出過程で多種動物に比較して近交退化が発現しやすい点から, 近交退化の研究にもしばしば使用される

ようになった。1966年に外国の研究者によって初めてウズラの近交退化が報告され、その後も国内外の研究者によって検討され、ウズラでは著しい近交退化現象が発現することが明らかにされた。しかし、これらの報告は近交退化現象の観察に留まっており、原因と発現機構についての詳細な検討はされていない。一方、近交退化と表裏一体の関係にある雑種強勢は品種間、系統間、近交系間の交配によって発現し、家畜・家禽や実験動物の生産に利用されている。しかし、その発現機構についてもほとんど解明されていない。

遺伝的パラメータの推定は選抜育種を進める場合に重要な情報を提供する。ウズラの骨格、筋肉、卵形質並びに産卵率などの遺伝的パラメータについてはほとんど検討がなされていなかったことから、ウズラの選抜育種の基礎資料を得る目的で、これらの形質の遺伝率、遺伝相関などの遺伝的パラメータについて取り上げた。

鶏、ウズラの初生雛の雌雄鑑別は生殖突起の有無、形、大きさなど排泄腔部の形態の観察によって行われているが、鑑別師の長年の経験と熟練が必要となっている。ウズラでは鶏に比べて体が非常に小さく、雌雄鑑別の作業は一段と厳しい状況にあり、特に、大量の雌雛の生産に当たっては簡便で確実に鑑別できる方法が望まれていた。その方法の一つに伴性遺伝の利用が考えられ、ウズラでは羽装色の突然変異（ブラウン・アルビノ・シナモン）遺伝子が伴性遺伝することが知られていた。しかし、伴性遺伝の利用によって作出される雌雛の生産能力についてはこれまで報告がなく、明らかではなかった。そこで、本研究では伴性遺伝を利用した簡便でかつ確実な雌雄鑑別法の確立を目指すことにした。

近年、家畜・家禽から排泄される窒素（N）、リン（P）などが環境汚染の一因として問題視され、排泄N・P量の低減化が強求められている。また、赤色色素抽出後のコチニール残渣は田畑への散布、土壌還元されているが、その有効利用を図ることは農地への負荷の軽減や飼料費の節減などの面から重要な課題である。飼料中のCP（粗蛋白質）・P含量を節減させることによって、排泄N・P量を減らすことは可能であるが、低CP・低P量は産卵率などの生産形質の低下をもたらすことが知られている。そのため、排泄N・P量の低減化については低CP飼料への必須アミノ酸添加および低CP・低P飼料へのフィターゼ添加を試みた。コチニール残渣の利用に関する研究ではコチニール残渣が魚粉と同等のCP含量であることから魚粉の代替としての利用が期待されているので、その可能性について検討した。

健康志向が高まる状況にあって、卵へ機能性を付与して付加価値を高めることは重要な課題である。ウズラでは鶏に比べて卵黄色の値は低く、卵黄色の改善が望まれている。卵黄色の改善に加えて抗酸化能の機能性向上を図ることができれば、卵の付加価値を高め、消費拡大に

つながると考えられる。本研究はピオーネ果皮ならびにカロチノイド色素の紅鮭アスタキサンチン、パーム油、アスタキサンチンを取り上げ、卵への移行について検証した。

2. 近交退化と雑種強勢の解析

実験動物の開発にあたって、近交系の作出は非常に重要視されている。その理由としては、近交系は系統特有の遺伝的特性を持ち、かつ系統特有の反応を示すことから、特定の研究目的に適した実験動物となるからである。さらに、近交系の利点としてはいずれの個体も遺伝的な類似性が高いので、各種の実験処理に対して均一な反応が期待できることがあげられる。これらの近交系の作出には近親交配が採用されている。この近親交配は遺伝子をホモ化する可能性が高く、遺伝的に固定する場合にもっともすぐれた交配方法である。マウス、ラットなどの実験動物では多くの近交系が作出され、それぞれの研究分野にとって貴重な材料となっているが、これらの近交系はいずれも長期にわたる極度の近親交配によって確立されたものである。近交系の作出にあたって、不良な形質についても同時に遺伝的に固定し、その結果、奇形、致死因子、半致死因子などのホモ化も進行してくる。また、近親交配によって近交度が上昇してくると、生物としての適応性が低下し、体の大きさ、成長率、産子能力、産卵能力、泌乳能力や活力の低下などいわゆる近交退化現象が発現してくる。このように、近交退化は実験動物の生産にとって重要とみられる多数の形質に影響を与えることから、近交退化の解析、原因の追究は育種上重要な検討課題とみられている⁶⁾。

一方、近交系同士の交配によって得られる交雑種 F_1 は強健性を示し、成長、繁殖、泌乳、産卵、飼料の利用性、生存、環境適応などが増大し、環境変動に対する緩衝能力、自己調節能力が高まり、反応の均一性が得られるなどの雑種強勢現象が発現する。今後、雑種強勢の効果的利用をはかるためには近交退化現象の解明と同様に、雑種強勢現象について、その原因と発現機構を解明することが重要となってくる¹⁹⁾。

ウズラは他種動物に比較して、近交退化が発現しやすい点から、これまで近交退化の研究材料としてしばしば用いられてきている。これまで報告されたウズラの近交退化現象を確認するために、当教室で無作為交配によって維持してきたウズラのノーマル系統の閉鎖集団を材料に用い、全きょうだい交配によって近交世代を進めた場合、近親交配がウズラ生産諸形質に及ぼす影響について検討した^{1,2,3,5,6)}。Table 1は近交係数10%増加あたりの各生産形質の退化量を示した。すべての形質に退化の傾向がみられ、特に孵化率、育成率、雌の6週齢時体重に著しい退化が認められた。ウズラの近交退化の原因について、遺伝的荷重、荷重比の面から検討を加えた（Table

Table 1 Weight regression coefficient of traits on inbreeding expressed as deviations of inbred population from random mating population to every 10% of F

Traits	b ± S _b	Traits	b ± S _b
Fertility (%)	-2.16 ± 1.42	Body weight (g)	
Hatchability (%)	-5.98 ± 2.02 ^a	Female 0	-0.10 ± 0.39
Viability up to 4 weeks (%)	-5.52 ± 0.95*	2	-1.01 ± 0.39 ^a
Hatching time (days)	0.07 ± 0.04	4	-1.65 ± 0.58 ^a
Age at sexual maturity (days)		6	-3.27 ± 0.59*
Male	0.67 ± 0.74	10	-1.41 ± 1.04
Female	0.96 ± 0.47	Egg weight (g)	-0.21 ± 0.07 ^a
Body weight (g)		Egg production rate (%)	-3.77 ± 1.61
Male 0 week	-0.03 ± 0.04	Percent of eggs set (%)	-0.63 ± 0.18
2	-0.43 ± 0.36	Survival index (%)	-7.39 ± 1.86*
4	-0.71 ± 0.49	Fitness index (%)	-7.33 ± 1.69*
6	-1.18 ± 0.75		
10	-0.50 ± 0.58		

* : P < 0.05, ^a : P < 0.10.

Table 2 Genetic load in a Japanese quail population

	A	B	2 B	2 (A + B)	B / A
Fertility	0.038	0.165	0.330	0.406	4.342
Hatchability	0.235	1.204*	2.408	2.878	5.123
Viability ¹⁾	0.146	1.104*	2.208	2.500	7.562
Total	0.419	2.473	4.946	5.784	5.902

-log_eS = A + BF, ¹⁾4 weeks after hatching.

* : P < 0.05.

2). ウズラの致死相当量は1個体あたり4.95~6.78となり, ウズラ集団では約5~6個の有害遺伝子を保有することが明らかとなった⁴⁾. 一般に, 遺伝的荷重は集団のゲノムをホモ接合状態にした場合の適応度の低下の割合を示す数値であり, その値が高い程適応度は著しく低下するものとみられている. ウズラの遺伝的荷重の値は肉牛, 乳牛, 豚, 山羊, 鶏の値に比較して高いことから, ウズラでは他種動物に比較して近交退化現象が顕著に発現したものと考えられる. また, 荷重比5.90の値から推察して, 近交退化の原因は分離による荷重すなわち適応度の劣るホモ接合体が必然的に分離出現し, 適応度の低下をもたらしたことによるものと考えられる. ウズラの近交退化の原因は前述のように集団遺伝学の立場から検討が加えられているが, その原因, 発現機構については依然として不明の部分を残している. そこで, 当教室では近交退化の原因を解明するために近親交配のさいに顕著にみられた孵化率の低下についてその要因となる胚死亡に着目し, 形態学, 酵素組織化学, 生化学の面から検討を加えた. この研究は昭和58年, 59年度の2ヶ年にわたる文部省科学研究費一般研究 (B)「日本ウズラを用いた近交退化の原因追及に関する研究」(研究代表者 猪貴義)⁵⁾および平成2~3年度の一般研究 (C)「近交退

化を示したニホンウズラ初期胚の生化学的解析²⁰⁾の研究補助金によって進められたものである.

近交群と無作為交配群での胚死亡率について, 発生前期, 中期, 後期, 死ごもり期の4段階に分けて検討した結果, 両群とも発生前期での胚死亡率は他の時期に比較して高く, また近交世代に伴い顕著に増加することが明らかになった. そこで, 発生前期での胚死亡ならびに発育異常の原因を明らかにするために, 孵卵後2日, 3日, 4日目の初期死亡胚と発育異常胚について形態学的検討を加えた. その結果, これらの初期死亡胚と発育異常胚では脳, 心臓の形成不全, 形成異常, 脊索, 体節の崩壊, 消失, 血球形成不全, 血管発育不全さらに頭屈曲・頸屈曲不全など多くの形態異常が認められた. これらの形態異常は胚発生過程における器官の分化形成, 特に外胚葉と中胚葉器官の分化形成が障害を受けたことによるものと考えた. 孵卵後2日目の初期死亡胚と発育異常胚について, さらに微小形態学的検討を加えた結果, 両群ともに脳胞, 神経管, 心臓の形成不全, 脳胞の壊死, 脱落, 脳胞への出芽, 脳壁の肥厚, 血球の不足さらに体節の部分消失, 間充織の壊死, 部分消失, 大動脈の拡張などの組織器官の形成異常が認められた.

初期死亡胚と発育異常胚の形態異常に関連して, 近交

群と無作為交配群での脳、神経管、体節、血球、血島の壊死細胞数と分裂細胞数について検討した。その結果、いずれの組織においても壊死細胞数は近交群と無作為交配群の正常胚では少なく、これに対して近交群の死亡胚と発育異常胚では多い値となり、分裂細胞数は近交群と無作為交配群の正常胚では多く、近交群の死亡胚と発育異常胚では少なかった。

Table 3は近交群、交雑種F₁、無作為交配群の孵卵48時間後の体節数および各組織の分裂細胞数、分裂指数の値を示した^{15,16}。近交群の初期胚では発育遅延と分裂細胞数の有意な低下が認められた。上記の形態学的知見から、近交群では細胞の代謝活性が低下していることが示唆されたことから、孵卵後40時間の胚のNADH脱水素酵素、 α -グリセロリン酸脱水素酵素、コハク酸脱水素酵素、酸性フォスファターゼ、アルカリフォスファターゼ、非特異性エステラーゼの酵素活性値について酵素組織化学的検討を加えた。その結果、近交群の酵素活性値は無作為交配群と比較して、非特異性エステラーゼ以外はいずれも低い傾向がみられ、特に、その差異は酵素活性値の高い脳、神経管の組織で有意となり、近交群の初期胚では細胞の代謝活性が低下しているものと考察した。さらに、初期胚の蛋白質量、DNA・RNA量、ヘキソキナーゼ、ホスホリラーゼの酵素量¹⁹ならびにグリシン、ロイシン、グルタミン酸のアミノ酸量¹⁸およびチミジン、

ウリジンの取り込み量¹² (Table 4) についても検討したが、いずれも近交群が無作為交配群と比較して有意に低い値を示した。以上の知見から、近交群の初期発生段階での胚死亡、発育遅延の増加は胚発生過程での蛋白質、核酸合成およびエネルギー生成に必要な卵黄中遊離アミノ酸の不足や酵素、蛋白質、核酸合成に関連した代謝機能の低下に起因したものと考察した。近交退化の研究に関連して、代謝拮抗阻害剤(アンティマイシンA⁹、アクチノマイシンD¹⁰)の初期胚の発育に及ぼす影響、体外培養による近交胚の発生の経時的な観察⁸、近交に伴う酵素・蛋白質の遺伝子頻度ならびに遺伝子型頻度の電気泳動法による検討⁷などを取り上げた。

ウズラの近交系間交配による雑種強勢については十分検討がなされていなかったことから、高近交系間交配による雑種F₁の作出を試み、雑種強勢の発現について検討した。実験には2近交系(岡山近交系OO、豊橋近交系TT)とそれらの正逆交雑種(OT、TO)および無作為交配群(RB)を用いた。2近交系は12世代(近交係数92.5%)まできょうだい交配の継続によって作出された。正逆交雑種では近交系に比べて孵化率、育成率、産卵率がいずれも有意に高く、特に育成率は無作為交配群と類似した値となった¹³ (Table 5)。

正逆交雑種では成長のヘテローシス効果が成長過程全般において認められ、特に初期の成長で顕著であった。

Table 3 Number of somites, mitotic cells and mitotic index in various tissues of 48-hour-old embryos

Mating group	No. of embryos	No. of somites	Number of mitotic cells					Blood corpuscles blood island
			Forebrain	Hindbrain	Neural tube	Somite	Notochord	
Inbred lines	25	16.0 ± 0.9 ^a	15.1 ± 2.2 ^a (2.88 ^a)	9.9 ± 1.1 ^a (3.68 ^a)	6.5 ± 0.6 ^a (4.14 ^a)	8.2 ± 0.7 ^a (3.26 ^a)	0.4 ± 0.1 ^a (2.62 ^a)	10.8 ± 1.7 ^a (4.34 ^a)
F ₁ hybrid	25	21.4 ± 0.4 ^b	25.0 ± 1.4 ^b (3.14 ^b)	16.2 ± 1.0 ^b (3.75 ^b)	10.3 ± 0.6 ^b (4.38 ^b)	15.5 ± 0.9 ^b (4.85 ^b)	0.5 ± 0.1 ^a (3.32 ^a)	23.3 ± 2.9 ^b (5.27 ^{ab})
Randombred	24	23.2 ± 0.5 ^c	28.8 ± 2.0 ^b (4.31 ^b)	21.5 ± 1.6 ^c (4.75 ^b)	11.0 ± 0.8 ^b (4.55 ^a)	17.1 ± 1.0 ^b (4.74 ^b)	0.8 ± 0.1 ^b (4.02 ^a)	25.4 ± 3.4 ^b (5.49 ^b)

Mean ± S.E., () : Mitotic index expressed as percentage of mitotic cells in total cell number in each tissue.

Values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Table 4 Values of ³H-thymidine and ³H-uridine incorporated into embryos after 3 and 4 days of incubation in inbred lines, F₁ hybrid and randombred Japanese quail

Group	3 days (nmol/embryo)		4 days (nmol/embryo)	
	³ H-thymidine	³ H-uridine	³ H-thymidine	³ H-uridine
Inbred lines	(27) 0.99 ± 0.09 ^a	(26) 1.79 ± 0.14 ^a	(26) 2.75 ± 0.28 ^a	(28) 4.19 ± 0.37 ^a
F ₁ hybrid	(28) 1.61 ± 0.13 ^b	(26) 2.47 ± 0.21 ^b	(27) 3.58 ± 0.24 ^b	(28) 5.50 ± 0.28 ^b
Randombred	(29) 1.72 ± 0.11 ^b	(31) 2.53 ± 0.15 ^b	(25) 3.59 ± 0.37 ^b	(29) 5.53 ± 0.36 ^b

Mean ± S.E., () : Number of embryos.

Values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

雌の体重は正逆交雑種 (OT, TO) の間で差が観察されたが, この差異は一部母性効果に起因したことが示唆された。Table 6 は孵化時から16週齢時までの雌雄雛の体重を基にして算出したゴンペルツ成長曲線のパラメータ値を示した。この解析によって, 高近交系間交雑種での成長速度はその起源となった近交系の場合に比較して成長過程全般にわたって優れていることが明らかになった¹⁴⁾。Maeda *et al.*¹¹⁾ は近交系間交雑種に認められたヘテロシス効果は骨格筋の蛋白質合成率の増加に起因したことを明らかにしている。卵形質である卵殻重, 卵比重, 卵殻厚, 卵殻強度, 卵黄色にもヘテロシス効果がみられることが明らかになった¹⁴⁾。

3. 遺伝的パラメータの推定

量的形質の遺伝率や遺伝相関などの遺伝的パラメータを推定することは, 遺伝の関与の程度を推定するだけでなく, 選抜方法を決定したり, 選抜効果を予測する上で重要となる。ウズラの選抜育種の基礎資料を得るために8週齢時における雄体重, 筋肉重, 骨格形質の遺伝率, 表型相関, 遺伝相関について雄1:雌3の交配組合せ15組から得た221羽の雄雛を用いて検討した²⁵⁾。雄体重, 筋肉重および4種類の骨格形質 (骨格重, 骨格長, 骨格幅, 骨格高) の遺伝率は, 体重では0.67, 筋肉重では0.36~0.56, 骨格重では0.79~0.94, 骨格長では0.35~0.77,

Table 5 Fertility, hatchability, viability up to 4 weeks after hatching and egg production rate in inbred lines, their reciprocal crosses and randombred population of Japanese quail

Mating group ¹⁾	N ²⁾	Fertility (%)	Hatchability (%)	Viability (%)	N ²⁾	Egg production (%)
OO	24	81.1 ^a (253/312) ³⁾	38.7 ^a (98/253)	57.1 ^a (56/98)	19	61.0 ^a (487/798)
TT	25	78.8 ^{ab} (271/344)	36.9 ^a (100/271)	62.0 ^a (62/100)	24	71.7 ^b (714/996)
OT	20	73.8 ^{bc} (211/286)	73.5 ^b (155/211)	92.9 ^b (144/155)	54	89.6 ^c (2031/2268)
TO	18	70.1 ^c (155/221)	68.4 ^b (106/155)	91.5 ^b (97/106)	54	84.9 ^d (1923/2266)
RB	38	96.9 ^d (655/676)	81.8 ^c (536/655)	93.3 ^b (500/536)	60	88.6 ^c (2214/2500)

¹⁾OO: Okayama inbred line; TT: Toyohashi inbred line; OT: Okayama inbred line (♂)×Toyohashi inbred line (♀); TO: Toyohashi inbred line (♂)×Okayama inbred line (♀); RB: Randombred population.

²⁾Number of birds, ³⁾Values in parentheses are actual values.

Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

Table 6 The parameter values of Gompertz growth curve in inbred lines, their reciprocal crosses and randombred population of Japanese quail

Sex	Group ¹⁾	A ²⁾	b ²⁾	k ²⁾	Inflection point	
					Age (weeks)	Body weight (g)
Male	OO	100.02 ^a	2.9941 ^{ab}	0.3350 ^a	3.32 ^a	36.80 ^a
	TT	101.67 ^a	3.0028 ^{ab}	0.3285 ^a	3.39 ^a	37.40 ^a
	TO	105.16 ^b	3.0426 ^a	0.4056 ^b	2.64 ^b	38.68 ^b
	OT	108.07 ^c	3.0563 ^a	0.4265 ^b	2.81 ^c	39.76 ^c
	RB	107.21 ^{bc}	2.9435 ^b	0.4592 ^c	2.39 ^d	39.44 ^{bc}
Female	OO	118.19 ^a	3.0663 ^a	0.2994 ^a	3.86 ^a	43.48 ^a
	TT	126.50 ^b	3.1817 ^b	0.3172 ^a	3.70 ^a	46.54 ^b
	TO	130.04 ^{bc}	3.1971 ^b	0.3766 ^b	3.13 ^b	47.84 ^{bc}
	OT	132.60 ^c	3.2293 ^b	0.3702 ^b	3.22 ^b	48.78 ^c
	RB	132.76 ^c	3.0959 ^a	0.4268 ^c	2.67 ^c	48.84 ^c

¹⁾OO: Okayama inbred line, TT: Toyohashi inbred line, TO: Toyohashi inbred line (♂)×Okayama inbred line (♀), OT: Okayama inbred line (♂)×Toyohashi inbred line (♀), RB: Randombred population.

²⁾ $y = Ae^{-be^{-kt}}$ (Gompertz equation).

Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

骨格幅では0.17~0.32, 骨格高では0.41~0.84の値が認められた。ウズラにおける骨格形質の遺伝率は形質によって異なること, また同じ骨格形質であっても部位によって異なることが明らかとなったことから, 骨格形質の選抜に際して用いる方法および選抜の効果が選抜の対象となる形質, 部位によって異なることを示唆している。表型相関, 遺伝相関は体重と筋肉重, 骨格長との間に, また大腿骨長, 下腿骨長, 中足骨長の間には高い正の相関値がみられた。以上の結果から, 体重, 筋肉重, 骨格長は選抜育種によって改良されることが示された。上記と同様の交配で得られた323羽の雌雛から生産された3,230個の卵を用いて卵形質の遺伝率および表型相関, 遺伝相関について検討した²⁶⁾。卵重などの卵形質の遺伝率は0.52~0.84の高い値を示し, 表型相関, 遺伝相関は卵形質間で種々の値がみられた (Table 7)。これらの結果から, 個体選抜が卵形質の改良にもっとも有効な方法であり, 卵形質の遺伝的改良を行うにあたってはそれらの相互関係を考慮すべきであることが示された。上記以外にも, 産卵率²¹⁾, 孵化率²¹⁾, 孵化時から8週齢時までの雄体重と12週齢時までの雌体重²²⁾, 8週齢時雄雛の内臓器官重量²³⁾, 血清蛋白質量²⁴⁾について検討したが, 産卵率, 体重の遺伝率の値はいずれもこれまでの鶏, ウズラでの報告値と類似した値を示した。

4. 伴性遺伝を利用した初生雛の雌雄鑑別

初生雛の雌雄鑑別は熟練した技術と長い経験が必要である。そのため, 雛の大量生産にあたっては簡便な雌雄

鑑別法が望まれる。伴性遺伝を利用した雌雄鑑別法はその一つであり, 鶏ではすでに前から利用されている。ウズラではブラウン, アルビノ, シナモンの3系統は羽装の突然変異であり, これらの羽装色を支配する遺伝子は性染色体上に位置し, 伴性遺伝することが知られている。ブラウン系統雄とノーマル系統雌の交配で得られる初生雛はブラウン羽装がすべて雌 (b/-), ノーマル羽装がすべて雄 (b/+) となり, 羽装色で容易に雌雄鑑別することが可能である。伴性遺伝を利用した場合, 初生雌雛の羽装は突然変異の羽装色となることから, 生産形質への影響が危惧された。Table 8は伴性遺伝を利用した交配であるブラウン系統雄とノーマル系統雌の交雑種F₁での受精率, 孵化率, 育成率および産卵率, 卵重, 体重の値について親系統と比較した。交雑種F₁ではいずれの形質も親系統と同等の値を示した。これらの値は閉鎖集団で維持した岡山系統間の交配で得られたものであるが, 豊橋から種卵で購入したノーマル系統の雌に岡山ブラウン系統雄を交配した結果, この交雑種では岡山系統間の交雑種よりも高い孵化率, 育成率の値を示した。このことから, 伴性遺伝を利用する場合は血縁の離れた系統同士を交配することが得策であると示唆された。また, ノーマル系統に換えて体の大きいフランス系を雌に用いた場合でも初生雛の雌雄鑑別が容易にできることを確かめた。このように, ブラウン羽装の伴性遺伝を利用した雌雛の作出は実用的に価値があるものと示された。さらに, アルビノ系統についても同様に検討した。アルビノ系統雄とノーマル系統雌との交配で得られた初生雛はア

Table 7 Heritability estimates, phenotypic and genetic correlations of egg characteristics in Japanese quail

Characteristics	Egg weight	Yolk weight	Albumen weight	Shell weight	Shape index	Albumen height	Specific gravity	Shell thickness	Shell strength	Yolk color
Egg weight	0.62 ±0.17	0.81*	0.93*	0.70*	-0.07	0.10	-0.14*	0.19**	0.13*	0.14**
Yolk weight	0.73 ±0.09	0.68 ±0.19	0.56**	0.44**	-0.02	-0.08	-0.38**	0.00	0.02	0.06
Albumen weight	0.93 ±0.03	0.44 ±0.16	0.66 ±0.19	0.65**	-0.08	0.21**	-0.05	0.20**	0.13*	0.18**
Shell weight ¹⁾	0.70 ±0.17	0.19 ±0.20	0.73 ±0.09	0.78 ±0.23	-0.06	0.06	0.61**	0.69**	0.56**	0.21**
Egg shape index	-0.03 ±0.21	0.01 ±0.22	0.03 ±0.21	0.01 ±0.22	0.77 ±0.26	0.13*	-0.03	0.12*	0.17**	-0.01
Albumen height	-0.04 ±0.20	-0.03 ±0.19	0.13 ±0.19	-0.01 ±0.20	-0.31 ±0.19	0.77 ±0.21	0.06	0.10	0.10	0.19**
Specific gravity	-0.06 ±0.21	-0.54 ±0.15	0.11 ±0.20	0.56 ±0.15	0.05 ±0.23	0.16 ±0.21	0.84 ±0.26	0.75**	0.54**	0.14*
Shell thickness ¹⁾	0.29 ±0.19	-0.17 ±0.20	0.41 ±0.17	0.81 ±0.07	0.28 ±0.21	0.35 ±0.18	0.77 ±0.09	0.79 ±0.24	0.59**	0.18**
Shell strength	0.35 ±0.18	-0.14 ±0.21	0.46 ±0.15	0.73 ±0.10	0.45 ±0.18	0.25 ±0.20	0.65 ±0.13	0.85 ±0.06	0.52 ±0.16	0.09
Yolk color	0.36 ±0.37	0.08 ±0.43	0.37 ±0.37	0.53 ±0.32	0.03 ±0.46	0.15 ±0.43	0.41 ±0.38	0.55 ±0.31	0.42 ±0.37	0.61 ±0.18

Heritability estimates (Sire ± Dam) to diagonal line.

Phenotypic correlation to right of diagonal; genetic correlation to left of diagonal.

¹⁾Including shell membrane, ²⁾Standard error.

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

ルビノが雌, ノーマル羽装が雄となり, 羽装色から容易に雌雄鑑別することができた. しかし, 親のアルビノ系統はブラウン系統, ノーマル系統に比較して受精率, 孵化率, 育成率などの繁殖能力が著しく劣ることから, アルビノ系統を伴性遺伝に用いる場合はアルビノ系統の繁殖能力の向上, 遺伝的改良を図る必要がある.

5. 排泄窒素・リン量の低減化

最近, 家禽から排泄されるN・Pが環境汚染の一因として問題視され, 排泄N・P量の低減化は重要な課題である. 排泄N・P量の低減は飼料のCPや添加P量を節減することでなされるが, 低CP飼料にした場合, 鶏では生産能力の低下がみられることが知られている. そこで, 低CP飼料にアミノ酸を添加することによって生産性を改善する研究が行われている. 産卵鶏, プロイラー, 七面鳥を用いた実験によると, 単体必須アミノ酸の添加により飼料の低CP化は可能であることが報告されている. 一方, 鶏では低P飼料にフィターゼを添加することで, 体重などの生産形質の改善, 排泄P量の低減ができることが数多く報告されているが, ウズラでは検討がなされていない. そこで, 本研究はCP含量が産卵率などの生産形質に及ぼす影響²⁷⁾およびCP 20%の低CP飼料に必須アミノ酸を添加した場合の効果について検討した. また, リン酸カルシウム無添加のCP 20%飼料にフィターゼを添加した場合の雛の初期成長, 脛骨の発育, 血漿無機P含量, 雛の死亡率に及ぼす影響について検討した.

Table 9はCP 20%飼料にメチオニン, リジン, トレオニンの必須アミノ酸をそれぞれ日本飼養標準に示された要求量の100%, 110%, 120%添加した場合の産卵率, 卵重, 体重, 飼料摂取量に及ぼす効果について示した. 産卵率はCP 20%飼料のアミノ酸添加区では無添加区に比較して有意に高くなり, 卵重, 体重, 飼料摂取量の値もアミノ酸添加区ではCP 24%の値に近似し, アミノ酸添加によって生産形質の向上が認められた. CP 18%飼料でも同様に検討したが, アミノ酸添加の効果は認められたもののCP 24%の値に比べて劣る値を示した. 以上の結果, CP 20%の低CP飼料へのアミノ酸添加は実用性があるものと考えられた. また, 摂取アミノ酸量, 産卵日量, 血漿中アミノ酸濃度のデータを基にそれらの関係について検討した結果, 血漿中アミノ酸濃度は産卵量の指標となる可能性が考えられた.

フィターゼ添加がウズラ雛の初期成長に及ぼす影響をみるために, CP含量20% (NPP 0.31%), 24% (NPP 0.38%)の2水準に市販フィターゼ (黒麹菌 *Aspergillus niger*, 500単位/g, 協和発酵工業株) 0, 500, 1,000, 2,500単位/kgの4水準を添加した²⁸⁾. 体重は性別間に有意差はみられなかったが, CP間, フィターゼ水準間に有意差が認められ, CP 20%ではCP 24%に比べて有意に低く, またフィターゼ添加水準が高くなるにつれて高い値を示した. 体重についてはCP含量とフィターゼ添加水準の間に交互作用が認められ, CP 24%に比べてCP 20%でフィターゼ添加水準の効果が大きく認められた. フィターゼ添加による初期成長の改善は産卵鶏, プ

Table 8 Performance in matings applied by sex-linked inheritance

Mating group	Fertility (%)	Hatchability (%)	Viability ¹⁾ (%)	Egg production ²⁾ (%)	Egg weight ³⁾ (g)	Body weight ⁴⁾ (g)
Brown line	98.1 ^a	83.6 ^a	96.1 ^a	95.4 ^a	10.3 ^a	130.9 ^a
Normal line	97.5 ^a	90.8 ^b	95.5 ^a	95.1 ^a	10.6 ^b	134.5 ^b
B × N	99.3 ^b	88.3 ^b	95.7 ^a	96.3 ^b	10.2 ^a	132.1 ^{ab}

B × N : Brown (♂) × Normal (♀).

¹⁾4 weeks after hatch, ²⁾8~20 weeks of age, ³⁾10~11 weeks of age, ⁴⁾Female, 10 weeks of age.

Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

Table 9 Effects of dietary amino acids levels on performance of quail

CP content (%)	Egg production ¹⁾ (%)	Egg weight ²⁾ (g)	Body weight ³⁾ (g)	Feed intake ²⁾ (g/day/bird)
20	72.1 ^a	8.9 ^a	121.9 ^a	16.4 ^a
20 (100)	82.6 ^a	9.6 ^a	123.5 ^a	17.7 ^a
20 (110)	78.8 ^b	9.4 ^a	127.3 ^a	18.0 ^a
20 (120)	82.9 ^b	9.5 ^a	125.8 ^a	18.3 ^a
24	84.6 ^b	9.8 ^a	126.5 ^a	18.8 ^a

Amino acid: methionine, lysine and threonine, (): ratio to NRC.

¹⁾6~30 weeks of age, ²⁾10~11 weeks of age, ³⁾Female, 10 weeks of age.

Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

ロイラー、七面鳥でのこれまでの結果と一致した。フィターゼ添加によって栄養吸収阻害因子であるフィチン酸が分解され、フィチン酸と結合して吸収を阻害されていたCPやアミノ酸が遊離し、消化吸収率、利用率が向上し、増体量の増加に寄与したことが示唆されている。フィターゼ添加による雛の増体改善の原因としてはフィチンとミネラルの複合体からのミネラルの解離、イノシトールの利用、澱粉消化率の増加、CP・アミノ酸利用率の増加が挙げられている。

Table 10に示したように、フィターゼ添加水準は脛骨幅を除いた形質に有意差が認められ、脛骨は体重と同様にCP含量およびフィターゼ添加水準が高くなるにつれてそれらの値は高くなる傾向が認められた。血漿無機リン含量もCP 20%ではフィターゼ添加水準の増加に伴い高くなり、1,000単位以上の添加区では無添加区に比べて有意に高い値が認められた。フィターゼ添加によりPPの一部が無機Pに分離、吸収されて、脛骨に必要な無機Pが確保されたため増体量や脛骨の発育が改善されたと考えられた。本実験では育成期間の4週齢時までの雛の死亡率はCP 20%のフィターゼ添加区では顕著な減少が認められた。しかし、無添加区では脚弱症の発生率が多く観察され、これが死亡率を増加させた一因と考えられ、有効P量の差異が初期の脛骨の骨形成に影響を与えたものと推察した。さらに、CP 20%飼料に上記の必須アミノ酸(メチオニン、リジン、トレオニン：飼養標準要求量の120%)とフィターゼ2,500単位を添加した時の生産形質に与える効果についても検討し、アミノ酸添加の有効性について確認した。

6. コチニール残渣の利用

コチニール(コチニールカイガラムシ科エンジムシ、*Coccus cacti* LINNE (*Dactylopius coccus* COSTA))は赤色素を抽出するために用いられている。コチニール色素の本質はアントラキシン誘導体のカルミン酸で、酸性では橙色、中性で赤色、アルカリ性で赤紫色を呈する水溶性の色素である。色素抽出後のコチニール残渣はその多くは田畑への散布、土壌還元されているが、利用できる田畑の面積は限られていること、高蛋白質を含有することなどから、魚粉の代替飼料として有効利用を図ることが望まれている。コチニール残渣の有効利用を図ることは農地への負荷の軽減や飼料費の節減などの面から重要な課題である。

Table 11はコチニール残渣と魚粉の栄養成分値について比較したものである。コチニール残渣は魚粉に比較して粗蛋白質、粗脂肪の含量は同等であったが、粗灰分含量は少なく、一方炭水化物含量は高い値を示す特徴がある²⁹⁾。各々のアミノ酸、脂肪酸、ミネラル含量についても比較したが、コチニール残渣では魚粉に比較してメチオニン、リジンなどのアミノ酸、飽和脂肪酸C₁₆、不飽和脂肪酸C_{18:1}およびCa, P, Mg, K, Naなどのミネラル含量は少ない値を示した。特に、Ca含量はコチニール残渣では2,330 μ g/g、魚粉(CP 60%, 65%)では43,700, 49,400 μ g、P含量はコチニール残渣では3,020 μ g/g、魚粉では30,000, 31,800 μ g/gであり、著しい差が認められた。コチニール残渣飼料(CP 24%)を6週齢時の雌雛に給餌した結果、産卵率はコチニール残渣飼料区では魚粉飼料区(CP 24%)と類似した値を示したが、卵重は有意に低い値となった。卵重低下の原因については明ら

Table 10 Effects of phytase supplementation on weight, length, width and ash content of tibia at 4 weeks of age in Japanese female quail

Treatment		Culled body weight (g)	Tibia weight (g)	Tibia length (mm)	Tibia width (mm)	Ash content (%)
CP content (%)	20	52.3 \pm 1.5 ^b	0.36 \pm 0.02 ^b	37.6 \pm 0.7 ^b	1.94 \pm 0.06 ^b	40.6 \pm 0.2 ^b
	24	62.5 \pm 1.5 ^a	0.44 \pm 0.02 ^a	40.5 \pm 0.7 ^a	2.13 \pm 0.06 ^a	41.8 \pm 0.2 ^a
Phytase level (Unit/kg)	0	52.8 \pm 2.1 ^b	0.35 \pm 0.02 ^b	37.5 \pm 0.9 ^b	1.91 \pm 0.08	36.8 \pm 0.3 ^b
	500	55.5 \pm 2.1 ^{ab}	0.37 \pm 0.02 ^{ab}	37.9 \pm 0.9 ^{ab}	2.02 \pm 0.08	42.3 \pm 0.3 ^a
	1000	59.1 \pm 2.1 ^{ab}	0.42 \pm 0.02 ^{ab}	39.8 \pm 0.9 ^{ab}	2.04 \pm 0.08	42.9 \pm 0.3 ^a
	2500	62.1 \pm 2.1 ^a	0.45 \pm 0.02 ^a	41.1 \pm 0.9 ^a	2.15 \pm 0.08	42.8 \pm 0.3 ^a

Analysis of variance

Variance component

A (CP content)	***	**	**	*	***
B (Phytase level)	*	*	*	NS	***

Mean \pm SE.

Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; *** : $P < 0.001$; NS : not significant.

Table 11 Crude protein, fat and ash contents of fish meal and cochineal residue

	Dry reduced weight ¹⁾ (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)
Fish meal	65%	8.3	62.4	7.3
	60%	8.1	61.0	7.9
Cochineal residue	3.9	66.4	10.5	3.9
Commercial feed	11.2	25.0	3.6	10.6
Vegetable raw materials	10.8	20.7	3.2	10.7

¹⁾108°C, 2h

かだけでなく、今後の検討課題である。初生雛にもコチニール残渣飼料を給餌したが、脚弱症が多発し、死亡率も増加することが認められた。このコチニール残渣飼料に上記のフィターゼ2,500単位を添加した場合は脚弱症が改善され、死亡率も激減することが明らかになった。このことは上記のフィターゼの添加効果によるものと推察した。さらに、コチニール残渣と魚粉の配合比率を異にする飼料（1：1, 1：3, 1：10, 1：20）を調製し、6週齢時の雌雛に給餌した。その結果、産卵率、卵重、体重などの生産形質の値はいずれも魚粉飼料と類似したことから、コチニール残渣は魚粉との混合利用が実用的であると考えられた。

7. 卵への機能性の付与

自然食品として栄養価の高いウズラ卵に付加価値を付けることにより、ウズラ卵の摂取によって健康増進や疾病予防が期待できる。そこで本研究ではピオーネ果皮³⁰⁾、紅鮭アスタキサンチン^{31,32)}、パーム油³³⁾、アスタキサンチン（ファフィア酵母由来）を取り上げ、ウズラへ給餌した場合の生産形質に及ぼす影響および卵黄への移行、卵黄の抗酸化能の検討を行った。アスタキサンチン（Ax）は自然界に広く分布する色素群であるカロテノイドに属し、生体内で発生する有害な活性酸素を消去する抗酸化作用、発ガン抑制作用などが知られ、健康食品の成分として注目されている。CP 24%飼料に Ax5, 10, 20, 50, 100ppm 添加区および無添加区の6区を設け、初生雛に給餌し、28週齢時まで継続した。卵黄色は白色度計（NW-1, 日本電子工業株）、卵黄への Ax 移行量は HPLC 法、卵黄の抗酸化能は DPPH ラジカル消去法で測定した。給餌試験の結果、Ax 添加によって体重、飼料摂取量、産卵率、卵重は減少し、飼料要求率も劣る傾向がみられ、初生雛からの給餌では添加の効果が認められなかった。しかし、Ax 添加は卵黄色の改善に高い効果がみられ、Ax 添加量に伴って卵黄への Ax 移行量が増加し、卵黄への Ax の移行率は約 1% であり、卵黄の抗酸化能も上昇することが明らかになった（Fig. 1～3）。10週齢時の成雌ウズラを用いて、Ax 添加後の卵黄色の変化を検討した結果、給餌開始後3日目にはいずれの添加区

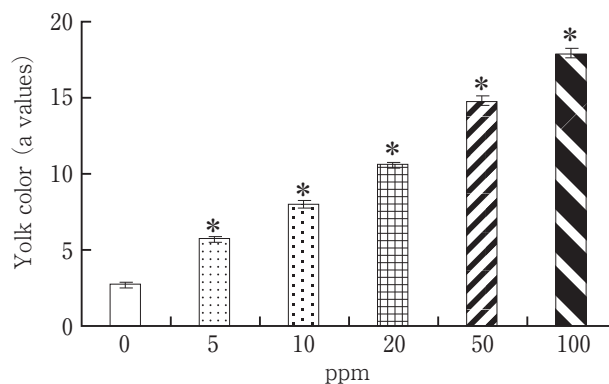


Fig. 1 Change of yolk color by supplementation with astaxanthin (Ax).

Mean ± S.E.

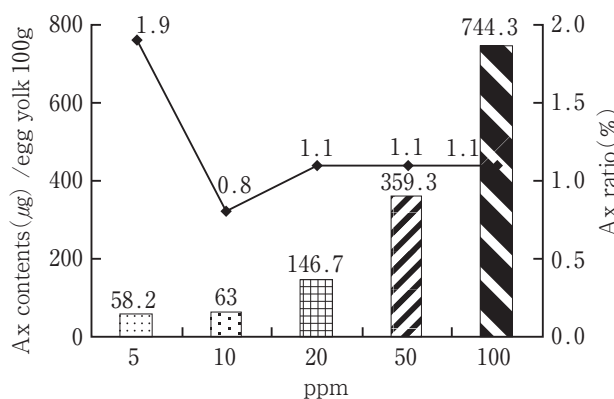
Significantly different from the value of 0ppm. * $P < 0.05$ 

Fig. 2 Transition of astaxanthin (Ax) in yolk.

でも卵黄色が増し、Ax 添加量が多いほど卵黄色は高い値を示した。以上の結果、Ax 添加飼料は成雌雛に給餌するのが適切であると判断した。パーム油も卵黄色を改善させることが明らかになったが、ピオーネ果皮は卵黄色の改善に効果が認められなかった。

上記の課題の他、ウズラの温度適応性、細網内皮症ウイルス（REV）の病態と抗病性育種、筋ジストロフィー症、攻撃行動と攻撃性高・低系統の選抜育種、食品廃棄

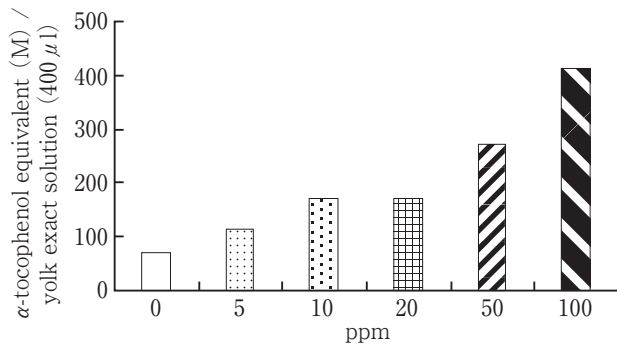


Fig. 3 Antioxidative capacity by supplementation with astaxanthin (Ax).

物（賞味期限切れ）の飼料への有効利用，おから炭・ペプタイドミール（酵素処理魚粉）給餌試験，制限給餌，弱酸性次亜塩素酸水の飲水試験などの課題についても取り上げ，検討した。

おわりに

岡山大学農学部家畜育种学教室ではマウスの研究も同時に行ってきたが，ウズラのための紹介となった。わが国で唯一家禽化され，かつ実験動物として注目されているウズラの育種ならびに飼料，栄養に関する研究を行い，数多くの研究成果を得ることができた。とりわけ，育种学上重要な課題である近交退化，雑種強勢現象について発生初期段階での胚死亡や初期胚の発育に着目し，追及した。その結果，多くの知見を得ることができ，近交退化，雑種強勢の原因解明に手がかりを与えたと考えている。しかし，これまでの解析手法では限界を痛感しており，今後分子遺伝学的手法などによる解明が必要と考えている。養鶏企業や食品関連企業などからの要請で取り上げた排泄N・P量の低減化，コチニール残渣などの有効利用，卵への機能性付与などの研究は環境保全や健康維持に関連して今後も重要な課題であるが，採算性や収益性の面も考慮して検討することが必要である。

ウズラは鶏の実験動物として広範囲な分野で使用されており，また国内外においては卵・肉目的やワクチン製造目的のための家禽として飼育されていることから，今後ともウズラに関する基礎的並びに応用的な研究を進めることは重要であると考えている。

謝 辞

本研究は岡山大学名誉教授猪 貴義氏のご指導を受け，前岡山大学助教授河本泰生氏，岡山大学教授及川卓郎氏，国枝哲夫氏のご協力を得て，岡山大学農学部家畜育种学（実験動物学）教室の大学院（博士課程・修士課程）学生，学部学生の諸氏によって実施された。近交退化，胚組織に関する研究では東北大学名誉教授水間 豊氏，前東北大学教授星野忠彦氏に，飼料・栄養に関する研究では岡山大学教授馬場直道氏，准教授西野直樹氏にご協力，ご指導をいただい

た。本研究の遂行にあたって琉球大学教授新城明久氏，鹿児島大学教授前田芳實氏，広島大学教授都築政起氏，日本生物科学研究所水谷 誠氏，国立環境研究所高橋慎司氏のご協力，ご助言をいただいた。また，東海有機(株)，(株)旗影会，三栄源エフ・エフ・アイ(株)岡山工場，協和発酵工業(株)，鳥取缶詰(株)飼料工場，イエナ商事(株)，日本リサイクルマネジメント(株)倉敷事業所，常盤パルプ工業(株)，(株)林原生物化学研究所開発センター，岡山県総合畜産センター中小家畜科，エイチ・エス・ピー(株)の各社からご援助，ご協力をいただいた。ここに，深謝します。

引用文献

【近交退化と雑種強勢の解析】

- 1) 佐藤勝紀：実験用ウズラの遺伝的統御と大量生産方式の確立に関する研究，文部省特定研究「実験動物の純化と開発」「家畜・家禽の実験動物化に関する調査，研究」研究報告集録，昭和50年度～52年度（研究代表者 猪貴義），77-84（1978）
- 2) Sato K., S. Sato and T. Ino: Relation between egg fertility and testes weight and semen characteristics in Japanese quail bred by full-sib mating. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **55**, 45-51 (1984)
- 3) Sato K., T. Yamamoto, S. Ito, H. Kobayashi and T. Ino: The effect of inbreeding on fertility, hatchability and viability in Japanese quail. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **55**, 315-321 (1984)
- 4) Sato K., T. Yamamoto, S. Ito, H. Kobayashi and T. Ino: Genetic load in Japanese quail. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **55**, 789-791 (1984)
- 5) 佐藤勝紀：文部省科学研究費 昭和58～59年度一般研究 (B) 研究成果報告書 日本ウズラを用いた近交退化の原因追及に関する研究。(研究代表者 猪貴義，研究分担者 河本泰生・佐藤勝紀)，1-89 (1985)
- 6) 佐藤勝紀：日本ウズラにみられた近交退化現象。岡山実験動物研究会報，**4**，18-23 (1986)
- 7) 佐藤勝紀・餘語秀司・藤井博尚・河本泰生・猪 貴義：近親交配に伴う日本ウズラのエステラーゼDアイソザイムの表現型頻度と遺伝子頻度の変化。岡山大学農学報，**67**，23-32 (1986)
- 8) 佐藤勝紀・嶋 淳一・河本泰生・猪 貴義：近親交配が日本ウズラの培養胚の生存日数と発育に及ぼす影響について。岡山大学農学報，**68**，35-44 (1986)
- 9) 佐藤勝紀・大西淑乃・河本泰生・猪 貴義：日本ウズラの近交群と無作交配群における初期胚に及ぼすアンティマイシンAの影響。岡山大学農学報，**69**，9-16 (1987)
- 10) 佐藤勝紀・富原恵美・河本泰生・猪 貴義：日本ウズラの近交群と無作交配群における初期胚に及ぼすアクチノマイシンDの影響。岡山大学農学報，**70**，11-18 (1987)
- 11) Maeda Y., K. Sato, S. Okamoto and T. Hashiguchi: Heterosis in body weight and muscle protein turnover rate in the Coturnix quail. *Biochem. Genet.*, **26**, 395-399 (1988)
- 12) Sato K., M. Mikio, Y.E. Hediando, M. Tada, K. Hachiya and T. Ino: Incorporation of ^3H -thymidine and ^3H -uridine during early embryonic development in inbred and hybrid quail. *Jpn. Poult. Sci.*, **26**, 17-22 (1989)
- 13) Sato K., H. Fukuda, Y.E. Hediando and T. Ino: Heterosis for reproductive traits in reciprocal crosses of highly inbred lines of Japanese quail. *Jpn. Poult. Sci.*, **26**, 70-73 (1989)
- 14) Sato K., H. Fukuda, Y. Maeda, Y.E. Hediando and T. Ino: Heterosis for growth in reciprocal crosses of highly inbred lines of Japanese quail. *Jpn. Poult. Sci.*, **26**, 93-100 (1989)
- 15) Sato K., H. Fukuda, Y.E. Hediando and T. Ino: Heterosis

- for egg characteristics in reciprocal crosses of highly inbred lines of Japanese quail. *Jpn. Poult. Sci.*, **26**, 101-107 (1989)
- 16) Hediato YE, K. Sato and T. Ino : Embryonic development in inbred and hybrid quail. *Anim. Sci. Technol. (Jpn)*, **62**, 7-11 (1991)
- 17) Hediato YE, K. Sato and T. Ino : Mitotic index activity in inbred and hybrid quail. *Anim. Sci. Technol. (Jpn)*, **62**, 7-11 (1991)
- 18) 河本泰生・佐藤勝紀・木尾幹広・ヤヌアルソ エディ ヘディアント・猪 貴義 : 初期発生段階におけるニホンウズラの近交胚と雑種胚でのアミノ酸の取り込み量について. *岡山大学農学報*, **80**, 79-84 (1992)
- 19) 猪 貴義 : 近交退化と雑種強勢に関する実験的解析. *岡山大学農学報*, **79**, 75-88 (1992)
- 20) 佐藤勝紀 : 文部科学研究費 平成2~3年度 一般研究研究成果報告書 近交退化を示したニホンウズラ初期胚の生化学的解析. (研究代表者 佐藤勝紀) 1-38 (1992)
- 【遺伝的パラメータの推定】
- 21) 佐藤勝紀・名方純子・猪 貴義 : 日本ウズラにおける産卵率, 受精率, 孵化率の遺伝的パラメータについて. *岡山大学農学報*, **56**, 47-53 (1980)
- 22) 佐藤勝紀・我孫子 実・猪 貴義 : 日本ウズラにおける体重の遺伝的パラメータについて. *岡山大学農学報*, **58**, 31-41 (1981)
- 23) 佐藤勝紀・来住尚登・猪 貴義 : 日本ウズラにおける雄の生体重, 内臓抜き重量, 器官重ならびに筋肉重の遺伝的パラメータについて. *岡山大学農学報*, **59**, 39-48 (1982)
- 24) 佐藤勝紀・長瀬裕明・河本泰生・猪 貴義 : 日本ウズラにおける血清蛋白質量の遺伝的パラメータについて. *岡山大学農学報*, **65**, 39-46 (1984)
- 25) Sato K, T. Matsumura, Y. Kawamoto and T. Ino : Genetic parameters of body weight, muscle weight and skeletal characteristics in Japanese quail. *Exp. Anim.*, **38**, 47-54 (1989)
- 26) Sato K, N. Ida and T. Ino : Genetic parameters of egg characteristics in Japanese quail. *Exp. Anim.*, **38**, 55-59 (1989)
- 【排泄CP・P量の低減化】
- 27) Ri, E., K. Sato, T. Oikawa, T. Kunieda and H. Uchida : Effects of dietary protein levels on production and characteristics of Japanese quail eggs. *J. Poult. Sci.*, **42**, 130-139 (2005)
- 28) 馬 瑞銘・佐藤勝紀・及川卓郎・岡田 徹 内田秀司 : フィターゼ添加がウズラの初期成長に及ぼす影響. *日本家禽学会誌*, **45**, J9-J15 (2008)
- 【コチニール残渣の利用】
- 29) 佐藤勝紀・崔 勇権・市 隆人 : 魚粉の代替としてのコチニール残渣の特性. *関西畜産学会報*, **162**, 7-13 (2008)
- 【卵への機能性の付与】
- 30) 佐藤勝紀・馬場直道 : うずら卵における機能性付与の研究. 平成14年度研究報告概要集, 財団法人旗影会, 8 (2003)
- 31) 佐藤勝紀・馬場直道 : 紅鮭アスタキサンチンのウズラ卵黄への移行に関する研究. 平成15年度研究報告概要集, 財団法人旗影会, 83 (2004)
- 32) 佐藤勝紀・馬場直道 : ウズラ卵黄への移行した紅鮭アスタキサンチンの抗酸化能に関する研究. 平成16年度研究報告概要集, 財団法人旗影会, 26 (2005)
- 33) 馬場直道・佐藤勝紀 : ウズラ卵が示す抗酸化活性の評価と機能性向上への赤色パーム油の応用. 平成17年度研究報告概要集, 財団法人旗影会, 118 (2006)