به نام خداوند جان و خرد

انتشارات
۸۶۷

مدل‌سازی تغذیه‌ای در طیور

ن. ک. ساکومورا؛ ر. م. گوس؛ ای. کریازاکیس؛ ل. هاوشیلد

ترجمه:
دکتر شهگل رهبری
دکتر حامد احمدی
عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرّس

سرشناسه: سمپوزیوم بین‌المللی مدل‌سازی در تولید خوک و طیور(۲۰۱۳م.= ۱۳۹۲ : سائوپائولو، برزیل)
International Symposium of Modelling in Pig and Poultry Production (2013 : São Paulo, Brazil)
عنوان و نام پدیدآور: مدل‌سازی تغذیه‌ای در طیور/[ویراستاران] ن. ک. ساکومورا...[و دیگران]؛ ترجمه شهگل رهبری، حامد احمدی؛ ویراستار علمی حیدر زرقی؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری: ۳۲۰ ص.: مصوّر، جدول، نمودار.
فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۶۷.
شابک: ISBN: 978-964-386-561-0
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا.
[ویراستاران] ن.ک. ساکومورا، ر.م. گوس، ای. کریازاکیس، ل. هاوشیلد.
یادداشت: کتاب حاضر ترجمهٔ بخشی از کتاب «Nutritional modelling for pigs and poultry, 2015» است.
یادداشت: کتابنامه. نمایه.
موضوع: ماکیان -- تغذیه — Poultry -- Nutrition
زیست‌شناسی -- الگوها — Biological models
ماکیان -- فیزیولوژی — Poultry -- Physiology
شناسه افزوده: ساکومورا، نیلوا کازئو، ویراستار — Sakomura, N. K. (Nilva Kazue)
شناسه افزوده: رهبری، شهگل، ۱۳۷۰-، مترجم
شناسه افزوده: احمدی، حامد (دکترای علوم دامی)، مترجم
شناسه افزوده: زرقی، حیدر، ۱۳۴۹ -، ویراستار
شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
رده‌بندی کنگره: SF۴۹۴
رده‌بندی دیویی: ۶۳۶/۵۰۸۹۲۳۹
شمارهٔ کتابشناسی ملّی: ۹۱۳۷۹۳۹

مدل‌سازی تغذیه‌ای در طیور

پدیدآورندگان: ن. ک. ساکومورا؛ ر. م. گوس؛ ای. کریازاکیس؛ ل. هاوشیلد
ترجمه: دکتر شهگل رهبری؛ دکتر حامد احمدی
ویراستار علمی: دکتر حیدر زرقی
ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات: وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ دوم، پاییز ۱۴۰۴ (اوّل، ۱۴۰۲)
چاپ و صحافی: همیار
بها : ۳/۷۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:
فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶- ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسّسهٔ کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسّسهٔ دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شمارهٔ ۱۴۲ تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ – ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)
http://press.um.ac.ir Email: press@um.ac.ir

انتشارات
۸۶۷

فهرست مطالب

همکاران ۵

پیشگفتار مترجمان ۷

مقدّمه ۹

فصل ۱- مرور کلی بر مدل‌های طیور ۱۱

فصل ۲ [۱]- مدل‌سازی تولیدمثل در مرغ‌های مادر گوشتی و تخم‌گذار ۳۹

فصل ۳ [۲]- موضوعات آماری در مدل‌سازی ۵۵

فصل ۴[۳]- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷۱

فصل ۵[۴]- چالش‌های مربوط به استفاده از مدل‌های طیور: درمورد بوقلمون ۸۳

فصل ۶[۵]- INAVI: ابزاری کاربردی برای بررسی تأثیر عوامل تغذیه‌ای و محیطی بر عملکرد جوجه‌های گوشتی ۹۷

فصل ۷[۶]- کاربردهای مدل‌سازی در تولید و تغذیهٔ طیور ۱۲۷

فصل ۸[۷]- مدل بهینه‌سازی بهره‌وری از جوجه‌های گوشتی ۱۵۱

فصل ۹[۸]- AvinespModel: پیش‌بینی مدل‌های رشد و احتیاجات اسیدهای آمینه و انرژی در طیور ۱۶۹

فصل ۱۰ [۹]- احتیاجات نگهداری برای اسیدهای آمینه در طیور ۱۹۹

فصل ۱۱ [۱۰]- مدل برآورد احتیاجات اسیدآمینه برای رشد و نموّ جنسی در پولت‌های تخم‌گذار ۲۱۹

۱. فصول مربوط به مدل‌سازی در تغذیهٔ خوک حذف شده‌اند. بنابراین فصل‌بندی کتابِ ترجمه‌شده به‌ترتیب از شمارهٔ ۱ تا ۱۶ انجام شده که درحقیقت این فصل در کتابِ مرجع فصل ۳ است.

۲. فصل ۵ کتاب مرجع

۳. فصل ۷ کتاب مرجع

۴. فصل ۸ کتاب مرجع

۵. فصل ۹ کتاب مرجع

۶. فصل ۱۰ کتاب مرجع

۷. فصل ۱۳ کتاب مرجع

۸. فصل ۱۴ کتاب مرجع

۹. فصل ۱۵ کتاب مرجع

۱۰. فصل ۱۶ کتاب مرجع

فصل ۱۲[1]- پاسخ جوجه‌های گوشتی به مصرف اسیدهای آمینه ۲۳۵

فصل ۱۳[2]- توصیف رشد اجزای بدن در جوجه‌های گوشتی و پولت‌های تخم‌گذار..... ۲۵۵

فصل ۱۴[3]- پاسخ مرغ‌های تخم‌گذار به مصرف اسیدهای آمینه ۲۶۷

فصل ۱۵[4]- احتیاجات اسیدهای آمینه برای پولت‌ها براساس توانایی در ذخیرهٔ پروتئین و بازدهی مصرف اسیدهای آمینه..... ۲۸۱

فصل ۱۶[5]- مقایسهٔ دو روش برای تعیین نسبت‌های بهینه اسیدهای آمینه در جیرهٔ جوجه‌های گوشتی با رشد سریع ۲۹۹

نمایه ۳۱۷

۱. فصل ۱۷ کتاب مرجع
۲. فصل ۱۸ کتاب مرجع
۳. فصل ۱۹ کتاب مرجع
۴. فصل ۲۰ کتاب مرجع
۵. فصل ۲۱ کتاب مرجع

همکاران

I. Andretta, Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, PO Box 90, 2000 Route, 108 East Lennoxville, Quebec, J1M 1Z3, Canada. E-mail: iandretta@gmail.com

I. Bouvarel, Institut Technique de l'Aviculture, 37380 Nouzilly, France. E-mail: bouvarel. itavi@tours.inra.fr

L. Brossard, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: ludovic.brossard@rennes.inra.fr

L. Cloutier, Département des Sciences Animales, Université Laval, Quebec, Quebec, G1K 7P4, Canada. E-mail: lcloutier@cdpq.ca

J.Y. Dourmad, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: jean-yves.dourmad@rennes.inra.fr

S. Dubois, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: serge.dubois@rennes.inra.fr

N.S. Ferguson, Nutreco Canada Agresearch, 150 Research Lane, Guelph, Ontario, N1G 4T2, Canada. E-mail: neil.ferguson@nutreco.ca

A.S. Ferraudo, Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brazil. E-mail: fsajago@gmail.com

C. Fisher, EFG Software, 20 Longstaff Court, Hebden Bridge, HX7 6AB, UK. E-mail: cfisher345@gmail.com

F. Garcia-Launay, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: florence.garcia@rennes.inra.fr

R.M. Gous, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa. E-mail: gous@ukzn.ac.za

L. Hauschild, Departamento de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brazil. E-mail: lhauschild@fcav.unesp.br

I. Kyriazakis, School of Agriculture, Food and Rural Development, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK. E-mail: ilias.kyriazakis@ncl.ac.uk.

E. Labussière, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: etienne.labussiere@rennes.inra.fr

P. Lescoat, AgroParisTech, UMR1048 SADAPT, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France. E-mail: philippe.lescoat@tours.inra.fr

M.-P. Letourneau-Montminy, Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, PO Box 90, 2000 Route, 108 East Lennoxville, Quebec, J1M 1Z3, Canada. E-mail: marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

F. Liebert, Georg-August-University Goettingen, Division of Animal Nutrition Physiology, Kellnerweg 6, 37077, Goettingen, Germany. E-mail: flieber@gwdg.de

E.B. Malheiros, Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brazil. E-mail: euclides@fcav.unesp.br

S.M. Marcato, Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brazil. E-mail: smmarcato@uem.br

B. Méda, INRA, UR83, Poultry Research Unit, 37380 Nouzilly, France. E-mail: bertrand.meda@tours.inra.fr

R. Neme, Ilender Pharmaceutical Corporation, Campinas, São Paulo, Brazil. E-mail: rafaneme@hotmail.com

J. Noblet, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: jean.noblet@rennes.inra.fr

E. Oviedo-Rondón, Prestage Department of Poultry Science, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 27695, USA. E-mail: eooviedo@ncsu.edu
M. Picard, INRA, UR83, Poultry Research Unit, 37380 Nouzilly, France. E-mail: picard@tours.inra.fr
C. Pomar, Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, PO Box 90, 2000 Route, 108 East Lennoxville, Quebec, J1M 1Z3, Canada. E-mail: candido.pomar@agr.gc.ca
J. Pomar, Department of Agricultural Engineering, Universitat de Lleida, Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida Espagne. E-mail: pomar@eagrof.udl.cat
M. Quentin, Maïsadour, BP 27, 40001 Mont-de-Marsan Cedex, France. E-mail: quentin@maisadour.com
V. Rivera-Torres, Nutreco Canada, 4780 Martineau, Saint-Hyacinthe, Quebec, J4R 1V1, Canada. E-mail: virginie.rivera@gmail.com
J. Rivest, Centre de Développement du Porc du Quebec inc., Sainte-Foy, Quebec, G1V 4M7, Canada. E-mail: jrivest@cdpq.ca
N. St-Pierre, Department of Animal Sciences, The Ohio State University, 2029 Fyffe Rd, Columbus, Ohio, 43210, USA. E-mail: st-pierre.8@osu.edu
A. Sünder, Georg-August-University Goettingen, Division Animal Nutrition Physiology, Kellnerweg 6, 37077, Goettingen, Germany. E-mail: angela.suender@agr.uni-goettingen.de
A. Valancogne, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: alain.valancogne@rennes.inra.fr
J. van Milgen, INRA, UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France. E-mail: jaap.vanmilgen@rennes.inra.fr
C. Wecke, Georg-August-University Goettingen, Division Animal Nutrition Physiology, Kellnerweg 6, 37077, Goettingen, Germany. E-mail: cwecke@uni-goettingen.de

دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه دولتی پائولیستا، جاباتیکابالا، سائو پائولو، برزیل

J.A. Araújo– anchietaaraujo@gmail.com
H.C.P. Bendezu– hldplm@gmail.com
M.A. Bonato– melinabonato@ig.com.br
D.C.Z. Donato– dzdonato@gmail.com
J.C.P. Dorigam– dorigam@ig.com.br
J. Sato– joycesato1986@yahoo.com.br
E.P. Silva– euedney@gmail.com
K.S. Venturini– katiani_sv@hotmail.com

استاد راهنما

N.K. Sakomura, Departamento de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brazil. E-mail: sakomura@fcav.unesp.br

پیشگفتار مترجمان

کتاب حاضر ترجمه‌ای است از *Nutritional modelling for pigs and poultry* که توسط یک تیم حرفه‌ای از محقّقان نام‌آشنا درزمینهٔ مدل‌سازی تغذیهٔ خوک و طیور تألیف شده است. اصل کتاب دارای ۲۱ بخش است که تعدادی از آن‌ها درمورد مطالعات مربوط به خوک بوده که در ترجمه صرف‌نظر شده و تأکید اصلی مترجمان بر بخش‌هایی با موضوع «مدل‌سازی تغذیه‌ای در طیور» بوده است. علوم طیور شامل آزمایش‌ها در سطوح مختلفِ فیزیکی و بیولوژیکی از اتم‌ها گرفته تا سطح گله است. به‌طور معمول، از آمار و ریاضیات برای ارزیابی داده‌های جمع‌آوری‌شده از تحقیقات در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود. این آنالیزها وظیفهٔ شناسایی روندها، الگوها یا اثرات متقابل را دارند که می‌توانند به پیش‌بینی و تفسیر بهتر منجر شوند. به‌دلیل پیچیدگی زیاد داده‌های تولیدشده توسط آزمایش‌های مختلف، چالش‌هایی برای اجرای برنامه‌های تغذیه‌ی دقیقِ طیور وجود دارد. تبدیل داده‌ها به اطلاعات کاربردی ازطریق مدل‌سازی و ابزارهای پیش‌بینی‌کننده می‌تواند باعث بهبود در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با پرورش طیور شود. انواع مختلفی از روش‌ها به‌عنوان ابزار مدل‌سازی، از گذشته تاکنون معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند که گسترهٔ آن‌ها از تکنیک‌های کلاسیک ریاضی‌آماری مانند طرح‌های آزمایشی، رگرسیون و روش‌های رویّهٔ پاسخ آغاز شده و با پیدایش هوش مصنوعی و گسترش رایانه‌های پرقدرت تا روش‌های هوشمند مانند منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی ادامه دارد. امروزه در دوران جدید فنّاوری‌های ریاضی- کامپیوتری- بیولوژیکی، لازم است از مدل‌های جدید داده‌محور استفاده کنیم تا نتیجهٔ تحقیقات دام و طیور را بهبود بخشیم. هدف از ترجمهٔ این کتاب، معرفی روش‌های مدل‌سازی و کاربرد آن‌ها در تجزیه، تحلیل و پیش‌بینی ویژگی‌های پیچیده در تغذیهٔ طیور بوده است. در بین متون علمی به زبان فارسی، کتابی مشابه درمورد تکنیک‌های جدید مدل‌سازی و کاربرد آن‌ها در آزمایش‌ها و صنعت طیور وجود نداشته است. این کتاب می‌تواند مورداستفادهٔ طیف وسیعی از افراد ازجمله دانشجویان، محقّقان و علاقه‌مندان به علوم طیور، به‌خصوص علاقه‌مندان به پژوهش‌های بین‌رشته‌ای قرار گیرد. درزمینهٔ کتاب‌های مدل‌سازی علوم دام و طیور به زبان فارسی کمبودهای زیادی هست که امیدواریم ترجمهٔ این کتاب بتواند قدمی درراستای رفع آن‌ها بردارد.

تهران، پاییز ۱۴۰۱

شهگل رهبری (دانشجوی دکترای دانشگاه تهران)

دکتر حامد احمدی (دانشیار دانشگاه تربیت‌مدرّس)

مقدّمه

مدل‌سازی ابزاری مفید برای تصمیم‌گیری دررابطه‌با طرح‌ها و شرایط مختلف سناریوهای پیچیدهٔ صنعت کشاورزی است. یکی از اوّلین گام‌های موردنیاز برای توسعهٔ مدل در شرکت‌ها یا دانشگاه‌ها، آموزش به دانشجویان و دانشمندان است. این کتاب شامل مقالات ارائه‌شده در سمپوزیوم بین‌المللی مدل‌سازی در تولید و پرورش خوک و طیور است که از ۱۸ تا ۲۰ ژوئن ۲۰۱۳ در دانشگاه پائولیستا، جاباتیکابالا، سائوپائولو، برزیل برگزار شده است. در این سمپوزیوم مفاهیم پایهٔ مدل‌سازی، توصیفات و کاربردهای مدل‌های تولید و پرورش و روش‌ها و رویکردهای جدید در مدل‌سازی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هدف از این سمپوزیوم تشویق دانشگاهیان برزیلی و بهره‌برداران صنعت طیور و خوک جهت استفاده بیشتر از مدل‌سازی بود.

حدود دویست نفر ازجمله متخصّصان تغذیه، پژوهشگران، اساتید و دانشجویان در این سمپوزیوم شرکت کردند. کمیتهٔ برگزاری متشکّل از اساتید و دانشجویان FCAV - UNESP، دانشگاه کوازولو- ناتال، پیترمارتزبورگ، آفریقای جنوبی و دانشگاه نیوکاسل، انگلستان بودند. این سمپوزیوم یک موفقیت بزرگ درزمینهٔ توسعه و به‌کارگیری مدل‌سازی در تغذیهٔ طیور به‌حساب آمد.

همچنین، این سمپوزیوم نشان داد که اوج تحقیقات در این زمینه به بیش از سه دههٔ گذشته در دانشگاه جاباتیکابالا برمی‌گردد. در این جلسه نتایج اصلی پروژه با عنوان «مدل‌های برآورد احتیاجات اسیدهای آمینه در جوجه‌های گوشتی و پولت تخم‌گذار» ارائه شدند و از این نتایج برای توسعهٔ یک مدل شبیه‌سازی، معروف به "مدل AVINESP" استفاده شد.

افزون‌برآن، در این رویداد از استاد پائولو آلبرتو لواتو (به یادبود) در دانشگاه سانتا ماریا، ریو گراند دو سول، برزیل و استاد برجسته راب گوس از دانشگاه کوازولو- ناتال، پیترماریتزبورگ، آفریقای جنوبی تجلیل و قدردانی شد.

پروفسور پائولو لواتو یکی از پیشگامان توسعهٔ مدل‌سازی در برزیل بوده است. وی پس از اتمام دورهٔ دکترا به محدودیت‌های منابع انسانی در برزیل پی برد. به‌همین‌دلیل، پروفسور لواتو اوّلین گروه تحقیقاتی درزمینهٔ مدل‌سازی را در سال ۲۰۰۲ سازمان‌دهی کرد تا بدین‌وسیله بتواند به‌کارگیری مدل‌ها در تحقیقات و پژوهش‌های دانشگاهی و گسترش آن‌ها را تقویت کند. دراین‌راستا، اقدامات وی در ایجاد و گسترش رهبران جدید در این زمینه بسیار مؤثر و سودمند بوده است. جامعهٔ علمی از پروفسور لواتو به‌خاطر تلاش‌ها، همکاری و کمک‌های وی درزمینهٔ مدل‌سازی تغذیهٔ طیور تشکّر و قدردانی می‌کند و آرزومندیم راه ایشان توسط پیروانشان ادامه یابد.

پروفسور راب گوس زندگی علمی خود را وقف مدل‌سازی مکانیستیک در تولید و پرورش طیور و خوک

کرد. آثار وی به بیش از ۱۷۰ مقاله می‌رسد که در سراسر جهان منتشر شده است. این کمک‌ها دانش علمی را بهبود بخشیده و مفاهیم و تفکّرات جدیدی را در تغذیهٔ تک‌معده‌ای‌ها به ارمغان آورده است. ادغام و یکپارچه‌سازی کلّیهٔ مقالات منتشرشده در این زمینه که وی به‌همراه گروه منتخبی از محقّقان، پروفسور ترور موریس، دکتر کالین فیشر، گری ایمانز و دکتر پیتر لوئیس ایجاد کرد، سبب توسعهٔ نرم‌افزار EFG به‌منظور بهینه‌سازی تغذیهٔ طیور و خوک شد. از استاد بازنشسته، پروفسور راب گوس، به‌دلیل خدمات ارزندهٔ ایشان و سهمی که در جامعهٔ علمی و نقشی که در مدل‌سازی تولید و پرورش طیور دارند، نهایت تشکّر و قدردانی را داریم.

ن. ک. ساکومورا

۱

مرور کلی بر مدل‌های طیور

سی. فیشر[1]

خلاصه

در این فصل به مرور کلی دررابطه‌با سیستم‌های تولید طیور و یا زیرمجموعه‌های مرتبط با آن‌ها در شرایط نظری[2] یا عددی[3] پرداخته می‌شود. در علوم طیور نمونه‌های بسیاری وجود دارد که می‌توان با استفاده از روش مدل‌سازی به حل مسئله در آن‌ها پرداخت. به‌طور گسترده‌ای، «مدل» هنوزهم به‌عنوان یک گروه کوچک (یا پن) از پرندگان در یک آزمایش تجربی استفاده می‌شود. ارتباط بین مدل‌سازی و آزمایش‌های تجربی در حل مشکلات عملی در تولید طیور، پس‌زمینه‌ای در بررسی مدل‌های طیور محسوب می‌شود.

از سه روش اصلی برای مدل‌سازی در سیستم‌های طیور استفاده می‌شود، هرچند این روش‌ها متقابلاً منحصربه‌فرد نیستند و اغلب با روش‌های مختلف هم‌پوشانی دارند که عبارت‌اند از: ۱- استفاده از شبیه‌سازی مکانیستیک در برخی از بخش‌های سیستم تولیدی، ۲- روش‌های گسترش‌یافته در ارزش آزمایش‌های تجربی با استفاده از روش‌های آماری یا دیگر روش‌های عددی و ۳- استفاده از سیستم‌های کنترل زمان واقعی (Real-time). علاوه‌براین، موارد اندکی نیز وجود دارند که از مدل نظری برای گسترش درک مکانیسم‌های بیولوژیکی پایه استفاده می‌کنند که به‌موجب آن زیربنایی را برای طراحی و آزمایش فرضیه‌های بیشتر فراهم می‌سازند. در نهایت، این موارد دامنهٔ بااهمیتی از روش‌های کمّی را فراهم می‌کنند که به‌طور مستقیم در مدیریت تولید طیور اِعمال می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که همهٔ این موارد مهم هستند و نباید هیچ‌یک از آن‌ها را بر دیگری برتر دانست؛ همهٔ این روش‌ها می‌توانند در شرایط مختلف مفید باشند و مورداستفاده قرار گیرند.

---

1. **C. Fisher** (EFG Software, Hebden Bridge, UK)
2. Theoretical
3. Numerical

تحوّلات اخیر در مدل‌سازی طیور در این چهارچوب با تأکید بر نکات زیر بررسی می‌شود:
۱- شناسایی مشکلات اصلی که باید در توسعهٔ مدل‌های شبیه‌سازی مکانیستیک حل شوند.
۲- استفادهٔ بهتر از داده‌های تجربی با استفاده از مدل‌سازی آماری
۳- تشویق روهای سیستمی و مدل‌سازی در علوم طیور و نیز تأثیر منتشر کردن و به‌اشتراک‌گذاشتن نتایج برای روش‌های استانداردشدهٔ تجربی و کاربرد تجاری آن

به‌دلیل سابقهٔ پژوهشی نویسندگان این کتاب، تأکید آن‌ها بر سیستم‌های تغذیه‌ای و تحقیقات و پژوهش در زمینهٔ تغذیه است.

مقدّمه

اصطلاح «مدل» به‌معنای وسیع‌تر می‌تواند برای توصیف هر مفهومی از بیان دنیای واقعی استفاده شود. به‌عنوان‌مثال، این مفهوم می‌تواند یک تصویر، یک مدل آنالوگ یا یک معادلهٔ ریاضی باشد. به‌طور گسترده‌ای، بیشترین مدل استفاده‌شده در علوم طیور بدون‌شک، آزمایش پن[1] است که در دنیای «واقعی» (تجاری) به‌وسیلهٔ گروه‌های کوچک تکرارشده از پرندگان در پن‌ها یا قفس‌ها مدل‌سازی می‌شود که کم‌وبیش منعکس‌کنندهٔ شرایط طبیعی است. بدون‌شک، از این روش به‌عنوان مدلی برای پیش‌بینی اینکه چگونه دنیای واقعی در شرایط مختلف رفتار خواهد کرد، استفاده می‌شود که برخی از ویژگی‌های آن به‌عنوان یک مدل به‌صورت ذیل ذکر می‌شود:

۱- این مدل، پایهٔ اصلی علوم کاربردی طیور را تشکیل می‌دهد و به‌وضوح در فراهم کردن سیستم‌های (Platforms) تکنیکی که در صنعت به‌طور موفقیت‌آمیزی رشد کرده‌اند، بسیار موفق بوده است. این روشْ ساده، نسبتاً ارزان و آسان برای درک کردن است و نتایج آن را به‌راحتی می‌توان استفاده و منتشر کرد.
۲- محدودیت‌های این مدل به‌طورکلی پذیرفته شده است؛ برای مثال، اندازهٔ جمعیت و یا قرارگرفتن درمعرض بیماری ممکن است دقت پیش‌بینی مدل را تحت‌تأثیر قرار دهد، اما اعتبارسنجی (صحّت و درستی) در مدل به‌طور جدّی درنظر گرفته نشده و کمتر موردتوجه قرار گرفته است.
۳- این مدل به‌طور واضحی تجربی است، نتایج آن نیز فقط مربوط به ترکیبی از شرایطی است که در آزمایش غالب است. تکرار آزمایش‌های مشابه در طول زمان و در مکان‌های مختلف ممکن است این واقعیت که برخی از اثرات ثابت در جهانِ «واقعی» در طول زمان (به‌عنوان‌مثال، ژنوتیپ‌های پرنده) یا با توجه به فاکتورهای «مکانی» مانند کشور یا طبقه‌بندی‌های زیست‌محیطی گسترده تغییر می‌کند را توجیه کند.
۴- تکرار کردن بسیاری از آزمایش‌های مشابه سبب می‌شود تا اعتماد به نتایج آن افزایش یابد، اما تا جایی که منبع تحقیق بی‌ارزش تلقّی نشود.

1. Pen trial

تأثیر آزمـــایش‌های کاربـــردی در مدل‌سازی طیور این‌گونه گزارش شده است (Chwalibog and Bald win, 1995) که:

در مقایسـه با متخصّصـان تغذیه‌ای که با دیگر گونه‌های حیوانات اهلی کار می‌کنند، متخصّصـان تغذیهٔ طیور از مزیّت خاصـی که قادر به انجام آزمایش‌ها با تعداد زیادی از حیوانات (به‌لحاظ اقتصـادی) هسـتند، برخوردارند. شـایع اسـت که آزمایش‌های پاسـخ‌های ارزیابی با تعداد تیمارها و تکرارهای متعددی انجام می‌شـود. حتّی دیده شـده اسـت که از تعداد ده‌هزار قطعه پرنده نیز در آزمایش‌ها اسـتفاده شـده اسـت. این مزیّت تأثیر عمده‌ای بر عملکرد تغذیهٔ طیور دارد. یکی از این مزیّت‌ها این اسـت که اکثر مدل‌های توسـعه‌یافته‌ای که برای سـیسـتم‌های خوراک‌دهی طراحی شـده‌اند، برپایهٔ پاسـخ داده‌ها[1] هسـتند. مزیّت دوم این اسـت که پارامترهای مدل می‌توانند بسـیار سـریع به‌روزسـانی شوند؛ به‌عنوان‌مثال، این مورد در اصلاح بهبودهای ژنتیکی کاربرد دارد. مزیّت سوم این اسـت که متخصّصـان تغذیهٔ طیور تحقیق و بررسـی دررابطه‌با درک و کاربرد مفاهیمی ازقبیل تنظیم متابولیسـم، درک مسـیرهای بیوشـیمیایی با اسـتفاده از مواد مغذّی و صـرف انرژی را به‌منظور توصـیف روابط متابولیکـــی مختلف، کمتر بررسـی کرده‌اند که بیشـتـــر می‌تواند برای تلفیق این اطلاعات با مدل‌های مکانیسـتیک کاربرد عمومی‌تری را داشته باشد. این بیانات به بحثِ جاری بسیار مرتبط است.

کاربرد مدل‌سـازی ریاضـی در علوم طیور گسـترده و متنوّع اسـت. کنفرانس‌هایی مانند این و نیز در جاهای دیگر و چندین مقالهٔ مروری نشـان‌دهندهٔ دسـتاوردهای قابل‌توجهی در بسـیاری از زمینه‌های کاربردی علم طیور اسـت و درعین‌حال، دو سؤال درمورد تأثیر مدل‌سازی در علوم طیور مطرح است که هنوز هم به‌نظر می‌رسد باید انجام و بررسـی شـود: نخست اینکه می‌توان پرسید آیا مدل‌سازی بخشی جدایی‌ناپذیر از روش‌شناسی علوم طیور است؟ دوم اینکه آیا مدل‌سازی پتانسیل تصمیم‌گیری در بهبود وضعیت تجاری را دارد؟

در این مـرور کلـی از این مقالهٔ مدل‌سازی طیور، این دو سؤال به‌عنوان زمینهٔ مـوضوع مـوردبحث، بررسی می‌شود.

انواع مدل‌سازی در طیور

فرانس و تورنلی[2] (۱۹۸۴) مدل‌های طبقه‌بندی‌شـدهٔ ۲× ۲× ۲ را پیشنهاد کردند: مدل‌های تجربی یا مکانیستیک[3]، جبری و یا تصـادفی[4]، پویا (دینامیک) یا اسـتاتیک[5] از ویژگی‌های مهم مدل‌های موردنظر هسـتند. گروهی دیگر نیز در بحث حاضر، موارد ذیل را مورداستفاده قرار داده‌اند:

۱- مدل‌های نظریهٔ علمی

۲- مدل‌ها برای گسترش و افزایش دادن ارزش آزمایش‌های پن

۳- منحنی‌های رشد

1. Response data
2. France and Thornley, 1984
3. Empirical or mechanistic
4. Deterministic or stochastic
5. Dynamic or static

۴- مدل‌های تجربی سیستم‌های تولید طیور
۵- مدل‌های مکانیستیک سیستم‌های تولید طیور
۶- مدل‌های کنترل زمان واقعی[1]

مدل‌های نظریهٔ علمی

شرح صریح ایده‌های نظری در بخش تحقیقاتی طیور ممکن است به‌دلیل قابل‌اجرا بودن آزمایش‌های تجربی و هزینهٔ پایین آن، نقش مهمی نداشته باشد، اما یک استثنای جالب‌توجه دراین‌بین، فرضیهٔ پیشنهادشده توسط (Fraps, 1955) برای توضیح چرخهٔ تخمک‌گذاری در مرغ تخم‌گذار است. مدل این نظریه به‌صورت نموداری ارائه شده و به‌دنبال آن در متن نیز شرح داده شده است. اچس و شوچ (۱۹۸۴)[2] فرمول ریاضی این تئوری را به‌دست آوردند؛ کاری که بعدها توسط جانستون و گوس(۲۰۰۶)[3] بسط داده شد. این نظریه یا مدل از دهه‌های قبل در مطالعات آزمایشی و فیزیولوژیکی مطرح شد که توسط اچس (۱۹۹۶) خلاصه شده است. تئوری دیگری که تأثیر عمیقی بر مدل‌سازی تغذیه‌ای در طیور و خوک‌ها داشته است توسط امانز (۱۹۸۱) منتشر شد؛ ایده‌ای که حیوانات یک هدفِ قابل‌تعریف دارند؛ اینکه سعی می‌کنند به‌اندازهٔ کافی غذا بخورند تا این هدف را محقّق سازند و درنهایت به یک نظریهٔ قابل‌اندازه‌گیری در مصرف خوراک منجر شد (Emmans, 1997) و پایهٔ چندین مدل را برای حیوانات تک‌معده‌ای تشکیل داد (Emmans, 1981; Ferguson et al., 1994). این دو نظریه با هم برای مدل‌سازی بهره‌وری از تولید در مرغ‌های تخم‌گذار و مرغ‌های مادر گوشتی مطرح شد (Johnston and Gous, 2006; Gous and Nonis, 2010).

مدل‌سازی‌ها برای گسترش و افزایش دادن ارزش آزمایش‌های پن

شاید اوّلین روش متداول برای تلفیق نتایج آزمایش‌های تکرارشده، استفاده از کمیتهٔ متخصّص برای بررسی آزمایش‌ها و کاهش دادن یافته‌های چندگانه به خلاصه‌های ساده (و ظاهراً مفید) بود. این روش به‌طور گسترده در تغذیه برای حل مسئلهٔ احتیاجات مواد مغذّی مورداستفاده قرار گرفت (شورای تحقیقات کشاورزی، ۱۹۷۵؛ شورای تحقیقات ملّی، ۱۹۹۴). پیشرفت دیگر در این زمینه این بود که هم‌زمان با نتایج چندین آزمایش، برازش مدل‌های رگرسیون نیز درنظر گرفته شد و هردوی این‌ها به‌منظور خلاصه کردن یافته‌ها و شناسایی عواملی بودند که به‌طور سیستماتیک بر نتایج آزمایش‌ها تأثیر می‌گذاشتند. این رویکرد در علم طیور توسط راسن[4] پیشگام بوده است و اصطلاح هولو[5] نسب به متاآنالیز را برای این نوع مدل‌سازی توضیح داد (Rosen, 2006). در این مقاله، اهداف و برنامه‌های کاربردی تجزیه‌وتحلیل هولو (یا متا) آنالیز به‌شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱- پیش‌بینی پاسخ‌ها با رعایت حدود اطمینان، ۲- تهیهٔ نرم‌افزار برای اندازه‌گیری کمّیت پاسخ‌ها به Pronutrient

1. Real-time
2. Etches and Schoch, 1984
3. Johnston and Gous, 2006
4. Rosen
5. Holo

و مواد مغذّی منحصربه‌فرد در شرایط زمانی، مکانی و اقتصادی مختلف، ۳- برگردان کردن یا تفسیر شرایط تحقیقاتی به شرایط مزرعه‌ای[1]، مانند خوراک فراوری‌شده در مقابل خوراک مش، پرنده‌های تفریخ‌شده در مقابل تعیین جنسیت‌شده، پن در مقابل قفس، رخ دادن بیماری اندمیک[2] یا عدم بروز بیماری، جیرهٔ عملی در مقابل جیرهٔ خالص، مقدار داروهای تجویزشده در سطح مطلوب در مقابل دُزهای نامطلوب، ۴- استقرار درمعرض‌متغیّرهای کلیدی همچون دمای محیط و درصد مواد مغذّی، ۵-کشف متغیّرهای غیرقابل‌پیش‌بینی مستقل ازلحاظ نظری و اثرات متقابل بین آن‌ها و ۶- تعریف موضوعات و اولویت‌بندی تحقیقات درآینده.

روش‌ها و کاربردهای متا آنالیز در تغذیهٔ حیوان توسط ساوانت و همکاران (۲۰۰۸)[3] مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که در اینجا کمتر مطرح خواهد شد، اما کاربرد و استفاده از متاآنالیز یا هولوآنالیز در علم عملی طیور توسط چندین محقّق مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

- موریس (۱۹۶۸)[4] نتایج ۳۴ آزمایش را با هم تلفیق و رابطهٔ بین مصرف خوراک در مرغ‌های تخم‌گذار و سطح انرژی جیره را بیان کرد. او یک قاعدهٔ کلی برای پیش‌بینی مصرف خوراک پرندگان با توجه به جثّه درنظرگرفت. این تجزیه‌وتحلیل با استفاده از داده‌های اخیر به‌روزرسانی نشده است.

- فیشر و ویلسون (۱۹۷۴)[5] نتایج ۱۶۰ برآورد از پاسخ جوجه‌های گوشتی به تراکم مواد مغذّی جیره (ازنظر نسبت‌های سطوح انرژی به مواد مغذّی) را ترکیب کردند. رگرسیون‌های خطّی به‌منظور تعیین اثرات جنس، سن و نژاد، نسبت انرژی به پروتئین و شکل فیزیکی خوراک بر روی پاسخ‌های مصرف خوراک و رشد را به‌دست آوردند. این تجزیه‌وتحلیل نیز با استفاده از داده‌های اخیر به‌روز نشده است.

- لی و همکاران (۱۹۷۱)[6] نتایج تعداد زیادی از آزمایش‌ها را برای نشان دادن اثرات محدودیت خوراک‌دهی در پولت‌های درحال رشد ترکیب کردند. محدودیت خوراک‌دهی، انرژی جیره و سطوح پروتئین جیره همراه با اثرات آن بر رشد، بلوغ جنسی، تولید و وزن تخم‌مرغ موردتوجه قرار گرفته بود. این تجزیه‌وتحلیل با استفاده از داده‌های اخیر به‌روز نشده است.

- لوئیس و همکاران (۱۹۹۸)[7] نتایج حاصل از ۱۵ آزمایش را برای ایجاد یک مدل کلی توصیف از اثرات دورهٔ نوردهی[8] پایدار بر بلوغ جنسی پولت‌ها ترکیب کردند. بعدها سایر نویسندگان با توسعهٔ بیشتر در این مدل، اثرات تغییرات در دورهٔ نوردهی را بر بلوغ جنسی در پولت‌های تخم‌گذار (Lewis et al., 2002; Lewis and Morris, 2004, 2008) و در جوجه‌های گوشتی بررسی کردند (Lewis et al., 2007). این نمونه‌ها برای پرنده‌های تخم‌گذار مورداستفاده قرار گرفته‌اند (رجوع شود به فصل ۲).

در سال‌های اخیر ممنوعیت استفاده از آنتی‌بیوتیک به‌عنوان محرّک رشد و گسترش فنّاوری آنزیم‌های خوراکی موجب شد تا انواع مختلفی از افزودنی‌های خوراکی به‌وسیلهٔ تعداد زیادی از آزمایش‌های تجربی

1. Praxis (field)
2. Endemic بیماری‌ها زمانی اندمیک محسوب می‌شوند که به‌طور منظم، طبق الگوهای ثابتی و در مناطق خاصی رخ دهند.
3. Sauvant et al., 2008
4. Morris (1968)
5. Fisher and Wilson, 1974
6. Lee et al., 1971
7. Lewis et al., 1998
8. Photoperiod

ارزیابی شـود. راسـن روشـی را با اسـتفاده از آنالیزهای ترکیبی از چنین آزمایش‌هایی را هدایت کرد؛ او نام این فرایند را هولوآنالیز نامید. خلاصـه‌ای از کاربرد این تکنیک‌ها برای فعـــالیت‌های ضـدّمیکروبی و آنزیمی در دسـترس است (Rosen, 1995, 2010). در یک پایگاه داده از ۱۷۱۷ مقالهٔ منتشرشده، ۷۰۰۱ تست مربوط به پاسخ جوجه‌های گوشتی به "Pronutrients" بود؛ محاسبه شده است که در حدود صد مورد از این تست‌ها برای تعیین یک مدل آماری با اهداف پیشگویانه، موردنیاز است (Rosen, 2004). بنابـــرایـــــن به‌نظر می‌رسد که متاآنالیز ابزاری برای مؤثرتر کردن استفاده از آزمایش‌های تجربی است، اما نه برای کاهش نیاز به آن‌ها.

در بسـیاری از آزمایش‌های مقایسـهٔ بین دی ال متیونین و آنالوگ هیدروکسـیل متیونین، بررسـی شـده که متاآنالیز نتایج حاصل از آن‌ها به‌وسیلهٔ محقّقان گزارش شده است (VázquezAñón et al., 2006; Sauer et al., 2008). این اختلافات تجاری مهم با اسـتفاده از متاآنالیز به‌طور کامل حل نشده است، اما این موضوع مزایای مدل‌سازی داده‌های موجود را به‌جای تکرار آزمایش‌ها به‌خوبی نشـان می‌دهد. بحث و بررسـی راجع به روش‌های آنالیز مورداسـتفاده توسط پژوهشگران انجام شده است (Kratzer and Littell, 2006; Piepho, 2006; Rosen, 2007c).

تعداد زیادی از آزمایش‌های پن مربوط به مسـئلهٔ برآورد احتیاجات مواد مغذّی هستند و بسیاری از استدلال‌ها و روش‌های ریاضـی در تفسـیر نتایج به‌دسـت‌آمده پیشنهاد شده‌اند. داده‌های آزمایش معمولاً به توصیف از پاسخ یک ویژگی (خصـوصـیت) خروجی به سـطوح مواد مغذّی جیره یا مصـرف مواد مغذّی منجر می‌شـود. هدف از این مدل برای شـناسـایی یک نقطه روی منحنی ورودی- خروجی داده‌هاسـت که «احتیاجات» نامیده می‌شـود. اگرچه این روش‌ها به‌طور گسـترده‌ای در علوم کاربردی طیور مورداسـتفاده قرار گرفته‌اند، اما می‌توان گفت که آن‌ها خیلی منطقی نیسـتند. بیان این ایده که پرندگان احتیاجات ویژه‌ای به مواد مغذّی دارند، بسـیار سخت است و راه منطقی برای تعیین سـطوح تغذیه‌ای مواد مغذّی جهت استفادهٔ تجاری، تفسیر پاسخ‌های مشاهده‌شدهٔ تجربی در شـرایط اقتصـادی اسـت. ایدهٔ احتیاجات در پرندگان قبلاً توسـط برخی از پژوهشگران مطرح شده بود (Morris, 1983; Mack et al., 2000) و نتایج بسیاری از پاسخ‌های آزمایشی هنوز هم به‌صورت عددی از «احتیاجات» بیان می‌شـود. این مسـئله حوزه‌ای از علم طیور اسـت که در آن با اسـتفاده از یک روش سـیسـتمی و مدل‌سـازی به بهره‌وری بهتر از منابع و تصـمیم‌گیری‌ها در شرایط عملی منجر خواهد شد. این ایده‌ها توسط محقّقان مورد بحث و بررسـی قرار گرفتند (Pesti and Miller, 1997) و به‌وسـیلهٔ گوس نیز به‌روزرسانی شدند (مراجعه شود به فصل ۸ این کتاب).

منحنی‌های رشد

توصـیف رشـد به‌وسـیلهٔ معادلات ریاضی در طول سال‌ها موضوع اصلی برای مدل‌سازی حیوانات بوده است. این مسـئله موضـوع بزرگی اسـت که هنوز هم توسط علم‌آموزان مدل‌سازی طیور به‌واسطهٔ یکی از محقّقان به بهترین شـکل موردبحث قرار گرفته اسـت (Parks, 1982). مسـئلهٔ اصـلی که اغلب نادیده گرفته می‌شـود تمایز بین رشد بالقوّه و رشـد مشـاهده‌شـده اسـت. رشد مشاهده‌شده نتیجهٔ اثرات متقابل بین ژنوتیپ حیوانات و محیط (داخلی و

خارجی) است که در آن پرنده نگهداری می‌شود. رشد بالقوّه که در یک محیط نامحدود بیان می‌شود، مفهومی است که می‌توان آن را به‌طور منطقی جهتِ نشان دادن اثر ژنوتیپ حیوان روی رشد آن و نه اثر عوامل دیگر فرض کرد. هیچ قاعدهٔ کلی درمورد ماهیّت رشدِ مشاهده‌شده وجود ندارد و ازاین‌رو، دلیلی هم وجود ندارد که داده‌های رشدِ مشاهده‌شده حتماً مطابق با اَشکال خاصّ ریاضی باشند. مطالعات بسیاری وجود دارند که در آن‌ها محقّقان معادلات رشد متفاوت را با مجموعه‌داده‌های مشاهده‌شده مقایسه کردند. این مسئله با درنظرگرفتن ویژگی‌های ریاضی که یک تابع رشد ممکن است داشته باشد، به شیوه‌ای متفاوت مطرح شد (Parks, 1982) و در آن موارد متعددی فهرست‌بندی گردید که یکی از آن‌ها پیوستگی در رشد و نرخ‌های پیوستگی مربوط به آن در تمام مراحل رشد است و درنهایت به توجیه یک تابع رشد منجر شد که اکثر مخاطبان نیز آن را در این زمینه پذیرفته‌اند. پارکس معتقد است که این مورد باید پذیرفته شود؛ زیرا (۱) به‌نظر می‌رسد هیچ شواهدی برخلاف آن وجود ندارد و (۲) به‌طور غریزی از محتمل‌ترین موارد درنظر گرفته می‌شود. بااین‌حال، طبق نظریهٔ پارکس منحنی‌های رشد به بررسی اثرات عوامل محیطی و غیرمحیطی بر رشد پرنده می‌پردازند که البته به‌نظر نویسندهٔ حاضر می‌تواند برای آن توجیهی وجود نداشته باشد. روشی جایگزین برای مدل‌سازی الگوهای رشدِ نامنظم پیشنهاد شده است که در آن محقّقان یک رویکرد تحلیلی را برای داده‌های رشد جوجه‌های گوشتی که به‌صورت تناوبی یا غیرتناوبی[1] هستند، موردبررسی قرار دادند (Roush et al, 1994) و محقّقانی دیگر نیز رشد را پس از یک دوره اِعمال محدودیت خوراک دهی مدل‌سازی کردند (Talpaz et al., 1991). ضعف استدلال برای مطالعهٔ رشد بالقوّه این است که تعیین شرایط محیطی بدون اِعمال محدودیت برای هر شرایط آزمایشیِ خاصی (منحصربه‌فردی) دشوار است. به‌راحتی می‌توان گفت که محیط‌های «بدون محدودیت» باید مورداستفاده قرار گیرند، اما اطمینان یافتن از اینکه این شرایط برای همهٔ پرندگان و در همهٔ زمان‌ها در یک آزمایش اعمال می‌شود، دشوار است. اگرچه اِعمال محیط‌های بدون محدودیت در چندین آزمایش گزارش شده است، مشکلات آن به‌طور کامل نمی‌تواند حل شود و به‌نظر می‌رسد برپایهٔ فرضیه‌های معقول برای مدل‌سازی عملی باشد. هنگامی‌که یک تابع رشد انتخاب شد، می‌توان انحراف از تابع را برای شناسایی دوره‌هایی که ممکن است رشدْ نامحدود باشد، مورداستفاده قرار داد (Ferguson and Gous, 1993). مطالعات بر روی پارامترهای رشد تحت شرایط بدون محدودیت برای جوجه‌های گوشتی انجام شده است (Stilborn et al., 1994; Hancock et al., 1995; Gous et al., 1996, 1999; Hruby et al., 1996; Wang and Zuidhof, 2004; Sakomura et al., 2005, 2006). آزمایش‌های مشابهی برای بوقلمون‌ها گزارش نشده است، اگرچه محقّقی دیگر در فرضیات خود این مشکل را درنظر گرفته (Emmans, 1989) و اکنون اطلاعات موردنیاز دررابطه‌با بوقلمون نیز در دسترس است (Hurwitz et al., 1991; Porter et al., 2010).

مدل‌های تجربی در سیستم‌های تولیدی طیور

طیف گسترده‌ای از روش‌های مدل‌سازی تجربی برای سیستم‌های بیولوژیکی شرح داده شده (Roush, 2006) و

1. Chaos

کاربرد آن در صنعت طیور موردبحث قرار گرفته است (Roush, 2001). دراین‌میان، ابزارهای ذکرشده عبارت‌اند از: ۱- مدل‌های منطقی استوکاستیک (تصادفی) و منطق فازی[1]، ۲- دینامیک‌های غیرخطّی[2]، ۳- آنالیز رگرسیون و روش سطح پاسخ، ۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی، ۵- الگوریتم‌های ژنتیکی، ۶- فیلتر Kalman، ۷- معادلهٔ خطّی، ۸- روش‌های مبتنی‌بر محدودهٔ شانس و ۹- برنامه‌ریزی توان دوم. مثال‌های خوبی از هریک از این روش‌ها توسط راش و همکارانش نشان داده شده است، اما استفاده از آن‌ها در حل مشکلات علوم طیور و یا تصمیم‌گیری به‌صورت تجاری درحدّ تئوری باقی مانده است. به‌نظر می‌رسد که نویسندهٔ حاضر با تأکید بر محدودیت‌های این روش به‌جای توجه به سودمندی آن، به کاربرد متداول تکنیک‌های تک‌تحلیلی برای یک مسئله (به‌عنوان‌مثال، فریدی و همکاران، ۲۰۱۳) می‌پردازد. مدل‌های تجربی معمولاً براساس داده‌های تجاری یا داده‌های تجربی از آزمایش‌های پن هستند، اما می‌توان از روش‌های بحث‌شده در بالا (با درنظرگرفتن کل سیستم تولید طیور) یا یک بخش از آن‌ها استفاده و در بهبود تصمیم‌گیری تجاری، هدفمند عمل کرد. به‌این‌صورت که بهتر است مدل‌ها را از هم متمایز دانست، اما تمایز بین این مدل‌ها مانند متاآنالیز مطلق نیست و اصولاً تمایز بین مدل‌های تجربی و مدل‌های مکانیستیک در سیستم‌های حیوانی به‌طور واضح مشخص نیستند. جدول ۱-۱ فهرست تعدادی از مدل‌های تجربی را نشان می‌دهد که برای کمک به تصمیم‌گیری درمورد ساختار کلی گله و جایگزینی آن، تغذیه، محیط، مدیریت و پردازش و فراوری محصول منتشر شده است. جدول زیر لیست جامعی از همهٔ مدل‌های تجربی نیست، اما برای نشان دادن انواع مدل‌های تجربی قابل‌استفاده در طیور مطرح شده است.

مدل‌های مکانیستیک در سیستم‌های تولید طیور

در سال ۱۹۴۱ یک مقالهٔ مروری از احتیاجات پروتئین در طیور منتشر شد (Heuser, 1941). در بحث این مقاله این‌گونه نوشته شده است که:

احتیاجات برای اسیدهای آمینه متفاوت است... درعمل، تأمین احتیاجات برای تک‌تک اسیدهای آمینه ازنظر اقتصادی ضروری است.... نیاز واقعی براساس مقادیر مشخصی از اسیدهای آمینه در هر واحد از وزن نگهداری و همچنین مقادیر مشخص اضافی برای افزایش تولید مانند واحدهای رشد و اندازهٔ تخم‌مرغ است. تأمین حداقل این نیازها تحت‌تأثیر مصرف خوراک است. این تئوری مفهوم ظریفی را در سطح یک مدل تقریباً کامل از سیستم توصیف می‌کند که شامل ایده‌های مکانیستیکی است که می‌توانند مستقل از کل مدلِ موردآزمایش باشند. این امر سبب تمایز مهمی بین سیستم‌های بیولوژیکی توصیف‌شده در سطح تک‌تک حیوانات و رفتار جمعیت‌ها می‌شود و به آنالیز حاشیهٔ اقتصادی می‌پردازد. این ایده‌های مشابه بعدها در ارائهٔ مدلی برای توصیف پاسخ مرغ تخم‌گذار به مصرف اسیدآمینه، مورداستفاده قرار گرفت (Fisher et al., 1973)؛ این مدل به‌طور گسترده به «خوانش مدل[3]» مشهور شد. این یک بیانیهٔ رسمی (و مستقل) از ایده‌های هِسِر[4] بود و توصیف آماری از این مدل را بعداً توسعه داد (Currow, 1973).

1. Fuzzy logic
2. Chaos
3. Reading model
4 Heuser

جدول ۱-۱ مدل‌های تجربی برای سیستم‌های مدیریت طیور

مراجع[a]	سیستم مدل‌سازی‌شدهٔ	نوع مدل	یادداشت
	طراحی و برنامه‌ریزی و جایگزینی گله		
۱	گلهٔ جایگزین در تولید تخم‌مرغ	برنامهٔ دینامیک	
۲	تولید جوجه گوشتی، سنّ کشتار با توجه به قیمت	آنالیز اقتصادسنجی	
۳	سنّ بهینهٔ کشتار بوقلمون	چندجمله‌ای	
	تغذیه		
۴[a,b]	پاسخ به لیزین جیره	معادلهٔ توابع نمایی	مدل برای تعیین سطوح تغذیهٔ اقتصادی
۵	بهینه‌سازی لیزین جیره و سطح انرژی	سطح پاسخ معادلهٔ درجهٔ دو	مدل برای تعیین سطوح تغذیهٔ اقتصادی
۶	بهینه‌سازی سطوح پروتئین و انرژی در تغذیهٔ جوجه‌گوشتی	برنامهٔ معادلهٔ درجهٔ دو	
۷	پاسخ‌های تولید به انرژی و پروتئین جیره	رگرسیون چندگانه	مدل رشد IGM^{TM}
	محیط		
۸	ویژگی‌های عملی، جوجه‌های گوشتی	تجربی	عمدتاً مربوط به مبادلات انرژی است.
۹	ویژگی‌های عملی، بوقلمون‌ها	تجربی	عمدتاً مربوط به مبادلات انرژی است.
	سرمایه‌گذاری		
۱۰	مدل فرایند تصمیم‌گیری- تولید برای به حداکثر رساندن سود	رگرسیون چندگانه	
۱۱	به حداکثر رساندن سود	رگرسیون چندگانه	داده‌های مربوط به بوقلمون صنعتی

[a]References: 1Low and Brookhouse (1967); [2]Hochman and Lee (1972); [3]Case et al. (2010); [4a] Eits et al. (2005a); [4b] Eits et al. (2005b); [5]De Beer (2009), Talpaz et al. (2013); [6]Pesti et al. (1986); [7]Harlow and Ivey (1994); [8]Teter et al. (1973); [9] Teter et al. (1976); [10]Costa et al. (2002); [11]Cevger and Yalçin (2003).

بنابراین ایده‌های مکانیستیک به‌صورت کاربردی در علوم طیور برای مدت‌زمان طولانی نقش داشته‌اند و درعین‌حال، هر دو روش تجربیِ مورداستفاده ریشه در تجربه‌گرایی و آزمایش‌ها با گروه‌های کوچک پرندگان دارند. اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چرا این دیدگاه خارج از محدوده اتفاق افتاده است؟ توجه به این موضوع باید برای توسعهٔ مدل‌سازی در حمایت از صنعت طیور بیشتر مدّنظر قرار گیرد که دراین‌رابطه برخی از اظهارات هسر می‌تواند بررسی شود. این دیدگاه که «نیاز (به پروتئین) به اسیدهای آمینه متفاوت است» بحث‌برانگیز نیست و به‌طور کامل در پیشرفت‌های مدل در آینده قرار داده شده است. پس از تلاش طولانی‌مدت برای بررسی مقدار تک‌تک اسیدهای آمینه و اثرات متقابل بین آن‌ها (به‌عنوان‌مثال، D'Mello, 1994) و با تأکید بر تغذیهٔ عملی، استفاده از ایدهٔ پروفایل احتیاجات اسیدهای آمینه و پاسخ به «تعادل» پروتئین مدّنظر قرار گرفته است (Lemme, 2003). به‌طورکلی، بازگشت به روش سیستم‌ها پس از ناکامی در حل مسائل عملی با استفاده از یک روش کاهنده انجام شده است. تشخیص هسر این بود که «درعمل برای تأمین تک‌تک نیازها ضروری است که ما ازلحاظ اقتصادی» آن را با توجه به نیاز جهت بررسی عوامل تصادفی[1] در مدل‌سازی تغذیه‌ای درنظر بگیریم و نیز این ایده که احتیاجات تغذیه‌ای مفاهیم اقتصادی هستند، مهم است. در مدل‌سازی، عوامل تعیین‌کننده یا مکانیسم‌های بیولوژیکی باید در سطح تک‌تک حیوانات (به‌صورت فردی) درنظر گرفته شوند، درحالی‌که پاسخ

1. Stochastic elements

جمعیتِ مشاهده‌شده میانگینی از پاسخ‌های تک‌تک حیوانات آن جمعیت است. این عبارت که «نیاز واقعی احتمالاً براساس مقادیر مشخصی از اسیدهای آمینه در هر واحدِ وزن نگهداری و همچنین مقادیر مشخص اضافی برای افزایش تولید مانند واحدهای رشد و اندازهٔ تخم‌مرغ است» نشان‌دهندهٔ توسعه و استفاده از آزمایش‌های فاکتوریل در تغذیه است. این موضوع در زمان کار هسر به‌خوبی ثابت شده بود و نقش مهمی را در علوم تغذیه‌ای ایفا کرد. ایدهٔ احتیاجات مواد مغذّی که به‌عنوان میزان بهره‌وری از مواد مغذّی برای عملکردهای مختلف بیولوژیکی درنظر گرفته شده است، ریشه در مدل‌سازی تغذیه‌ای مکانیستیک دارد و احتمالاً این امر ادامه می‌یابد.

در دههٔ ۱۹۶۰ چندین محقّق معادلات سادهٔ فاکتوریل را به‌عنوان راهنمایی برای تغذیهٔ جوجه‌ها و مرغ‌های تخم‌گذار پیشنهاد کردند (Combs, 1960, 1967). بنابراین پیشنهاد داده شد که نیاز متیونین در مرغ را می‌توان با معادلهٔ زیر نشان داد (Combs,1960): $MET = 5.0E + 0.05W \pm 6.2\Delta W$. که MET = نیاز به متیونین (mg/day)، E = تولید تخم‌مرغ (g/day)، W = وزن بدن (g)، ΔW = تغییر در وزن بدن (g/day).

ماهیت خطّی چنین بیاناتی به‌طور واضح در واریانس مشاهدات منحنی‌های کاهش پاسخ در آزمایش‌ها دیده شده بود. کامبز برخی از روش‌های تکراری را برای مقابله با این مشکل معرفی کرد. پیشنهاد شده است که چنین بیاناتی درمورد بهره‌وری از مواد مغذّی تنها می‌تواند در سطح فردی در حیوان قابل‌استفاده باشد و پاسخ غیرخطّی جمعیت، انعکاسی از اختلاف در ویژگی‌های خروجی (E، W و ΔW) در بین تک‌تک حیوانات است (Fisher et al., 1973). تلاش [1]کورو (۱۹۷۳) در رسمی کردن این ایده باعث شد برآورد ضرایب مدل خطّی فرض‌شده از مشاهدات غیرخطّی جمعیت‌ها (به‌عنوان‌مثال، Morris و Blackbur، ۱۹۸۲) به‌وسیلهٔ فرضیه‌های مربوط به ساختار واریانس-کوواریانس جمعیت پایه معیّن شود (Torenbeek and Currow, 1996). کار مداوم بر روی هر دو موضوع مطرح‌شده توسط چنین معادلات فاکتوریلی متمرکز شده است: نخست، براساس تعریف ویژگی‌های خروجی مناسب و دوم، در تعیین ضرایب بهره‌وری از مواد مغذّی. سؤال سوم این است که چگونه عناصر معادله باید مقیاس‌بندی شوند. این مورد کمتر موردتوجه قرار گرفته است، هرچند این مسئله به‌ویژه برای نگهداری مهم است. توصیف رشد به‌اختصار در بالا و همچنین در سطح بیولوژیکی که در سیستمْ مدل‌سازی شده، موردبحث قرار گرفته است. مدل‌های ریاضی در پرندگان درحال رشد از رشد کل بدن، رشد پروتئین بدن بدون درنظرگرفتن پر و ترن‌آور پروتئین و چربی به‌عنوان توصیف‌کننده‌های رشد استفاده کردند (Emmans, 1981; King, 2001; Rivera-Torres et al., 2011). درمورد تخم‌مرغ، از وزن تخم‌مرغ تولیدشده به‌طور معمول به‌عنوان توصیف‌کننده‌های مدل استفاده می‌شود، اگرچه پیش‌بینی‌های جداگانه‌ای نیز از وزن زرده، آلبومین و پوستهٔ تخم‌مرغ صورت می‌گیرد (Johnston and Gous, 2006) اما بررسی رشد پرها به‌صورت تکی امری دشوار است و هنوز هم به‌طور قابل‌توجهی حل نشده است (مراجعه شود به بحث گوس و همکاران، ۱۹۹۹).

درمورد مطالعات بهره‌وری از مواد مغذّی، از تکنیک‌های مختلفی استفاده شده است، اما هنوز به‌ویژه در

1. Currow (1973)

پرندگان درحال رشد نسبتاً بی نتیجه مانده است. احتیاجات انرژی و پروتئین در مرغ‌های تخم‌گذار بررسی شدند (Chwalibog and Baldwin 1995) و اسیدهای آمینه نیز توسط محقّقی دیگر مورد بحث و بررسی قرار گرفتند (Fisher, 1994). یکسری آزمایش‌ها نیز برگرفته از آزمایشگاه پروفسور بیکر[1] بودند که وی شواهد مستقیم تجربی را درمورد بهره‌وری از اسیدهای آمینه در جوجه‌های درحال رشد نشان داد (Baker et al., 1996; Edwards et al., 1997; Edwards; Baker, 1999; Edwards et al., 1999). اطلاعات درمورد استفاده از اسیدهای آمینه در سطح نگهداری بی‌نتیجه مانده و این موضوع مسئله‌ای است که ممکن است به یک نظریهٔ بهتر و آزمایش پایه نیاز داشته باشد. احتیاجات نگهداری به‌طور متفاوتی به وزن بدن، وزن متابولیکی بدن و به وزن پروتئین بدن بدون درنظرگرفتن پر نسبت به پروتئین بدن در زمان بلوغ بستگی دارد (Emmans and Fisher, 1986; Fisher, 1994; Hurwitz et al., 1978; King, 2001). پژوهشی دیگر نکات مختلف اشاره‌شده در بالا را برای لیزین و ترئونین در مرغ‌های مادر گوشتی بیان می‌کند و همچنین آنچه را که مربوط به بهترین روش تجربی موجود در آن زمان است، نشان می‌دهد (Nonis and Gous, 2008). روش فاکتوریل برای بهره‌وری از انرژی به چاپ یک مقالهٔ عظیم منجر شد. ازطرف‌دیگر، اوایل کار توسط کالیبوگ و بالدوین (۱۹۹۵)[2] بررسی شد. اخیراً هم مقالات گسترده‌ای درمورد جوجه‌های گوشتی، مادر تخم‌گذار و گوشتی منتشر شده است (Sakomura, 2004، خلاصه‌ی آن را در مقالهٔ Sakomura, 2004 ببینید).

تأمین حداقل این احتیاجات تحت‌تأثیر مصرف خوراک قرار می‌گیرد. هسر یکی از چالش‌های بزرگ برای تحقیقات تغذیه‌ای و موضوعی را که هنوز کاملاً حل نشده است، تشخیص داد. توانایی پیش‌بینی مصرف خوراک یکی از ویژگی‌های ضروری در مدل‌های تغذیه‌ای است و به توسعهٔ بسیار بیشتری نیاز دارد. محرّک اصلی توسعهٔ مدل‌سازی برای حیوانات تک‌معده‌ای درحال رشد توسط پیشگام این امر صورت گرفته است (Whittemore and Fawcett, 1974). توصیف و شرح آن در شبیه‌سازی ذخیرهٔ پروتئین و چربی از خوک‌های درحال رشد نشئت گرفته است که آغاز تحوّلات مدرن در این زمینه محسوب می‌شود (Whittemore and Fawcett, 1976). جدول ۱-۲ مدل‌های سیستم‌های تولید طیور را نشان می‌دهد که به‌طورکلی، اصطلاحات و به‌ویژه سطوح آنالیز ارائه‌شده توسط این محقّقان را منعکس می‌کند (Whittemore and Fawcett, 1974).

خلاصه کردن ویژگی‌های اصلی این مدل‌های مختلف به‌صورت مقایسه‌ای دشوار است، اما برخی از نکات ممکن است موردملاحظه قرار گیرند. به‌ویژه، باید به عامل اصلی در هر مدل توجه شود. نظریهٔ رشد و مصرف خوراک که ابتدا توسط امانز (۱۹۸۱) پیشنهاد شد، به‌طور گسترده‌ای در مقالهٔ آن مورد بحث و بررسی قرار گرفت. براین‌اساس، نرم‌افزار توسعه‌یافته‌ای مبتنی‌بر EFG Software (1995) به‌وجود آمد که توسط ران و وانگ (۱۹۹۶)[3] به‌طور صریح و بی‌طرفانه‌ای بررسی شد.

1. Baker
2. Chwalibog and Baldwin, 1995
3. Roan and Wang, 1996

جدول ۱-۲ مدل‌های مکانیستیک تولید طیور

مراجع[a]	سیستم مدل‌سازی‌شده	یادداشت
۱	رشد جوجه‌گوشتی/بوقلمون	براساس مدل‌های نرم‌افزار EFG Software (1995)
۲	رشد جوجه‌گوشتی	با تصحیح نسبت روشنایی: تاریکی
۳	پولت‌های درحال رشد پرورش‌یافته	با تصحیح اثرات طول روشنایی فصلی
۴	رشد جوجه‌گوشتی	در اینجا بررسی نشده است.
۵	رشد و تولید جوجه‌گوشتی	سیستم شبیه‌سازی SONCHES برای رشد و تولید همهٔ پرندگان
۶	رشد جوجه‌گوشتی	شرح کامل مدل در این تئوری، منتشر و در اینجا بررسی نشده است.
۷	رشد جوجه‌گوشتی	
۸	رشد جوجه‌گوشتی	نژادهای بومی تایوان و بهینه‌سازی تغذیه
۹	رشد جوجه‌گوشتی	
۱۰	رشد جوجه‌گوشتی	نژادهای فرانسوی و سیستم‌های تولید
۱۱	رشد بوقلمون	
۱۲	نژاد مرغ‌های مادر گوشتی	مراجعه شود به Gous، فصل ۲

[a]References: [1] Emmans (1981); [2] Isariyodom et al. (1988); [3] Muramatsu et al. (1989); [4] Burlacu et al. (1990); [5] Grosskopf and Matthäus (1990); [6] Dänicke (1995); [7] Novák (1996); [8] Roan and Wang (1996); [9] King (2001); [10] Quentin (2004); [11] Rivera-Torres et al. (2011); [12] Gous and Nonis (2010).

ایده‌های مشابه آن بیشتر در مدل‌سازی خوک مورداستفاده قرار گرفت و امانز (۱۹۸۹) درمورد کاربرد آن‌ها در بوقلمون بحث کرد. گوس و برند (۲۰۰۸)[1] کاربرد این نظریه را برای شترمرغ اثبات کردند. در تئوری رشد این ایده مطرح شد که حیوانات یک هدف دارند و آن رسیدن به پتانسیل رشد پروتئین عاری از پَر است و با خوردن خوراک، رسیدن به این هدف میسّر می‌شود، مگر اینکه عوامل دیگری مانع انجام این کار شوند. مقدار خوراک داده‌شده، تأمین احتیاجات مواد مغذّی برای رشد بالقوّه به‌صورت مصرف خوراک «مطلوب موردنظر» که پرنده درپی تحقّق آن است، بیان می‌شود. ایده‌ای که توسط تعدادی از مفسّران بیان می‌شود، ایدهٔ تئوری مصرف خوراک است که به‌وسیلهٔ مبادلات انرژی هدایت می‌شود، اما این‌چنین نیست. این نظریه برای اعمال هرکدام از مواد مغذّی محدود است، هرچند درعمل تنها انرژی و اسیدهای آمینه درنظر گرفته می‌شود. عامل مهم دیگر این است که ویژگی‌های حیوان (ارزش‌های ژنوتیپی) تنها درصورتی معنی‌دار تلقّی می‌شوند که در شرایط نامحدود تعریف شوند، یعنی از قبل پتانسیل حیوان به‌وسیلهٔ ژنوتیپ آن تعریف شود، همان‌طور که در بالا توضیح داده شد.

این روش توسط امانز ارائه شد و تنها در مدل‌سازی طیور مورداستفاده قرار گرفت که شامل یک تئوری واقعی از مصرف خوراک است. این ایده‌ها چالش‌برانگیز هستند، اما از مزیّت انعطاف‌پذیری و توانایی توسعهٔ بیشتری برخوردارند. یکی از محدودیت‌های این ایده‌ها این است که روش توصیفِ رشد سایر اجزای بدن نسبت

1. Gous and Brand, 2008

به پروتئین از آلومتری استفاده و منحنی رشد پایه (برای رشد بالقوّهٔ پروتئین بدن عاری از پر در برابر زمان) را به منحنی گمپرتز[1] محدود می‌کند. ایزاری یودون و همکاران (۱۹۸۸)[2] چهارچوب اصلی مدل خود را براساس وایت مور و فاسِت (۱۹۷۴)[3] توصیف کردند. محرّک ضروری رشد، مصرف انرژی قابل‌سوخت‌وساز (ME) است که از وزن بدنْ پیش‌بینی شده و برای عوامل مختلفی نیز تصحیح شده است. بخش انرژی و پروتئین و استفاده از آن‌ها به مدل خوک نزدیک است، اما تصحیح مصرف ME در دوره‌های نوردهی ترکیب جالبی از مدل‌سازی تجربی و مکانیستیک را نشان می‌دهد. معادلات استفاده‌شده عبارت‌اند از:

$$MEI = C_2\left((1165 - 4.73T)(W/1000)^{0.75}\right) + C_1 \qquad (۱-۱)$$

$$C_2 = (96.54035767 + 1.44628213TH - 0.0512548TH^2 - 1.36290206LH + 0.00114968LH^4 - 0.00004401LH^5)/100 \qquad (۱-۲)$$

MEI= انرژی قابل‌سوخت‌وساز مصرفی (kJ/day)، T= دمای محیط (°C)، W= وزن بدن (g)، C_1= تصحیح برای پرندگانی که کمتر از ۵۰۰ گرم وزن داشتند $(C_1 = (60 - 0.12W)$، TH= ساعات کل در یک چرخهٔ روشنایی: تاریکی و LH= دورهٔ نوردهی (ساعات روشنایی) در چرخهٔ روشنایی: تاریکی.

معادلهٔ دوم «براساس ۱۴ مقاله» توصیف شده است، اما ارزیابی چنین تابع پیچیده‌ای انجام نشده است. برای مقادیر TH، ۲۴ ساعته، C_2، ۰/۹۳ و ۱/۱۶ به‌ترتیب زمانی‌که TH= ۸ و ۲۰ ساعت باشد، متغیّر است. دشوار است که ببینیم چطور چنین روشی بیشتر می‌تواند توسعه یابد. سرانجام محقّقان مقایسه‌ای از رشد پیش‌بینی‌شده و مصرف خوراک تا ۵۶ روزگی را با داده‌های منتشرشده از این مقاله نشان دادند (Isariyodom et al., 1988). توانایی تشخیص و تمایز پرندگانی که کامل تغذیه شده بودند، در شرایط مختلف گزارش نشده بود. این نویسندگان به پیشرفت‌های بیشتر اشاره کردند، اما این یافته‌ها هنوز پیدا نشده‌اند.

عناصر مکانیستیک مشابهی نیز در مدلی برای پیش‌بینی رشد در پولت‌های جایگزین مورداستفاده قرار گرفت (Muramatsu et al., 1989). دیگر عنصر محرّک، پیش‌بینی میزان مصرف انرژی از وزن بدن و افزایش وزن است. در این مدل، باید عناصر تجربیِ بیشتری برای ایجاد رابطهٔ بین حیوان با رشد کُندتر و سیستم تولیدی که در آن از خوراک کنترل‌شده استفاده می‌کند، ارائه شود. نخست، معادلات مربوط به مصرف انرژی به‌طور تجربی از مجموعه‌ای از داده‌های شرح‌داده‌شده توسط شورای تحقیقات ملّی NRC (۱۹۹۴) به‌دست آمده‌اند. دوم، جهتِ کالیبره کردن مدل برای اثرات دمای فصلی و محاسبهٔ دوره‌های تأخیر بین تغییرات درجه‌حرارت (دما) و پاسخ به مصرف خوراک و رشد از مجموعه‌داده‌های وسیع در این زمینه استفاده شده بود و مجدّداً برخی از روابط تجربی پیچیده معرفی شدند؛ به‌عنوان‌مثال، در پرندگان کمتر از ۹۰ روز، بازده ابقای پروتئین با استفاده از معادلهٔ زیر شرح داده شده است:

1. Gompertz
2. Isariyodom et al., 1988
3. Whittemore and Fawcett, 1974

$$Z = 0.78 \times \exp(0.1851 - 0.01681A + 0.0000962A^2 - 0.0000001A^3) \qquad (۳-۱)$$

Z = تبدیل پروتئین قابل‌دسترس به پروتئین بدن در سطح بالاتر از نگهداری است و A = سن به روز است.

منبع این معادله و درنتیجه امکان ارزیابی آن توضیح داده نشده است. این مدل ازطریق مقایسه با مجموعهٔ بزرگی از داده‌های تجاری ارزیابی شد. برخی از نویسندگان از این مدل برای توصیف محدودیت خوراک‌دهی در نژاد تخم‌گذار و گوشتی استفاده می‌کنند. بااین‌حال، با درنظرگرفتن اینکه این مدل براساس انرژی مصرفی محاسبه‌شده از رشد است، دشوار است که ببینیم چگونه تغذیهٔ کاملاً کنترل‌شده را درنظر می‌گیرد. همچنین در پرورش پرندگان، مهم‌ترین پاسخ‌های اقتصادی برای محدودیت خوراک‌دهی در عملکرد تولیدمثل است که این امر درنظر گرفته نشده است. پژوهش‌های گستردهٔ Burlacu در مدل‌سازی سیستم‌های طیور و خوک در تهیه و جمع‌آوری این فصل بررسی نشده است. مدل شبیه‌سازی تعادل انرژی و پروتئین برای جوجه‌های گوشتی توصیف شده است (Burlacu et al., 1990). گروسکوف و متیوس (۱۹۹۰)[1] شبیه‌سازی ریاضی از یک سیستم تولید در جوجه‌های گوشتی را با ارزیابی اقتصادی برپایهٔ وزن زنده توصیف کردند. در پرورش طیور، نتایج تحت‌تأثیر عوامل آب‌وهوایی و اقلیمی و مرگ‌ومیر قرار می‌گیرد و مصرف خوراک براساس تأثیرات دما و تراکم موجود در گله اصلاح می‌شود، درحالی‌که در بخش اقتصادی نتایج در یک چهارچوب مالی قرار می‌گیرند. این مدل شامل مجموعه‌ای از توابع مکانیستیک است که منبع پارامتری کردن در آن مشخص نشده است. این مدل بر این فرض استوار است که پرندگان به‌طور آزادانه تغذیه می‌شوند تا غذای کافی برای رسیدن به پتانسیل ژنتیکی خود را دریافت کنند و به‌تبع آن ظرفیت مصرف خوراک از دستگاه گوارش و «توانایی عبور مواد هضمی» در پرندگان تنظیم می‌شود و این مدل مشابه مدلی است که توسط امانز (۱۹۸۱) توصیف شده بود. این مدل اثرات مرگ‌ومیر، تراکم گله و توصیف سیستم کنترل محیطی را برای ارائهٔ شرح کاملی از فرایند تولید درنظر می‌گیرد. ایده‌های بسیار جالبی در این مقاله وجود دارد و نویسندگان آن بیان کردند که «تلاش برای توصیف بیشترِ این مدل با هدف استفاده از آن درجهت کنترل قیمت‌ها و به‌لحاظ اقتصادی و در آینده به‌عنوان یک راه‌حل نرم‌افزاری مؤثر درعمل کمک‌کننده است» که شواهدی از چنین تحوّلاتی در این مقاله یافت نشده است. مدل‌های توصیف‌شده توسط دانیک (۱۹۹۵)[2] که فقط خلاصه‌ای از آن در دسترس است و ران و وانگ (۱۹۹۶) به جزئیات در تهیهٔ این فصل بررسی نشده است. نوواک(۱۹۹۶)[3] مدل رشد خودتنظیمی در حیوانات هموترمیک را توصیف و از آن برای توصیف رشد جوجه‌های گوشتی استفاده کرد (Novák and Zeman, 1997; Novák et al., 2004). ورودی‌های این مدل شامل تودهٔ بدنی اوّلیه، تودهٔ بدنی در زمان بلوغ و مصرف خوراک روزانه است. سپس رشد روزانه عمدتاً به‌لحاظ تبادلات انرژی محاسبه شد. نوواک (۲۰۰۳) این ایده را بیان کرد که اثرات عوامل تنش‌زای مختلف بر رشد می‌تواند با افزایش احتیاجات انرژی نگهداری نشان داده شود. این اثرات ممکن است برای تبادلات شناخته‌شدهٔ انرژی، به‌عنوان‌مثال، برای محیط سرد کالیبر شوند، اما

1. Grosskopf and Matthäus, 1990
2. Dänicke,1995
3. Novák,1996

به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که آن‌ها فقط می‌توانند به‌وسیلهٔ تنظیماتی مبنی‌بر تجربه تعیین گردند. شرح خلاصه‌ای از مدل رشد جوجه‌های گوشتی که توسط کینگ (۲۰۰۱) ارائه شده، دشوار است؛ این کار مشکلات توصیف یک مدل در این مقاله را به‌خوبی نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد محاسبات رشد با استفاده از داده‌های مصرف خوراک ارائه‌شده توسط کاربر یا داده‌های مصرف خوراک تجربی براساس آنالیز چندجمله‌ای دو پن از پرندگان انجام می‌شود. داده‌های مصرفی در فواصل ۷ روزه به‌صورت «واحدهای تکمیل‌شده[1]» (RU) بیان شده است که محاسبهٔ درصد انرژی و پروتئین خوراک به‌شرح زیر است:

$$RU(\text{per g diet}) = 2 \times TME + (1.65 \times 5.739 \times CP) \times Q \qquad (۴-۱)$$

TME = مقدار انرژی قابل‌سوخت‌وساز حقیقی خوراک (kcal/g)؛ CP = پروتئین خام (g/100g)؛ و Q = ضریب کالیبراسیون است که مقدار آن به‌صورت پیش‌فرض مساوی یک است. ۵/۷۳۹ کیلوکالری بر گرم، ضریب پروتئین است.

از داده‌های این پرندگان دو معادلهٔ چندجمله‌ای برای وزن زنده (LWF) بیشتر یا کمتر از ۶۴۰ گرم محاسبه شده بود. برای پرندگان کوچک‌تر رابطهٔ به‌دست‌آمده ازاین‌قرار بود:

$$RU(\text{per bird day}) = -7.110241 + 2.549947(LWF) - 4.267 \times 10^{-3}(LWF)^2 + 4.0 \times 10^{-6}(LWF)^3 \qquad (۵-۱)$$
$$(n = 11, R^2 = 1.00)$$

مصرف خوراک به‌صورت FI = (RU/bird day)/(RU / g diet)×F g/bird day محاسبه شده است. F ضریب کالیبراسیون است که مقدار آن به‌صورت پیش‌فرض مساوی یک است.

صرف‌نظر از تکرار همهٔ مشاهدات و محاسبات، دشوار به‌نظر می‌رسد که چگونه چنین روشی می‌تواند با تغییر ژنتیکی یا تفاوت‌های ظریف بین سویه‌های جوجه‌های گوشتی که ویژگی این صنعت مدرن است، وفق داده شود. دو مدل باقی‌مانده که در جدول ۱-۲ ذکر شده‌اند، در جای دیگری در این کتاب بحث شده، اما در اینجا به‌طور مختصر برای مقایسهٔ روش‌های مورداستفاده مطرح شده‌اند. مدل INAVI توسط کوئنتین[2] (۲۰۰۴؛ فصل ۶، این کتاب) گسترش یافته و شرح داده شده است که نشان‌دهندهٔ پیشرفت قابل‌توجهی درزمینهٔ مدل‌سازی طیور است. این برنامه با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی Vensim® در ترکیب با ماکروسافت اکسل[3] توسعه یافته بود. Vensim® تسهیلات مفیدی را برای کاربر جهت تنظیم برخی از توابع دشوارتر در مدل با استفاده از امکانات گرافیکی "Look-up" فراهم می‌کند. این امر استفاده از داده‌های "Local" را تسهیل می‌کند و همچنین اجازه می‌دهد که این جنبه‌های مدل به‌طور مداوم به‌روزرسانی شوند. INAVI به‌طور ویژه‌ای به‌منظور فعالیت‌های تجاری در بازار فرانسه هدف‌گذاری شده است و طیف گسترده‌ای از ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی را دربرمی‌گیرد که

1. Repletion Units
2. Quentin, 2004
3. Microsoft Excel