

資料 Data

チュウゴクオオサンショウウオの遺伝子資源の保護と 利用に関する研究進展

蔣 万勝・蘭 香英・王 金秀・向 紅梅・田 賀・羅 慶華
(賀 思婷 訳・解題)

Recent progress in the genomic resource conservation and utilization
of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus*

Wansheng JIANG, Xiangying LAN, Jinxiu WANG, Hongmei XIANG,
He TIAN and Qinghua LUO
(Translation by Siting HE)

要旨：チュウゴクオオサンショウウオは世界最大級の両生類であり、科学的、生態学的、経済的に重要な価値がある。中国ではその野生個体は国家二級保護動物であるが、人工繁殖された二世代目以降は水産物や薬用資源として利用可能である。しかし、多様な保護対策が講じられているものの、野生個体の状況は依然として安心できない。自然保護区の設立や人工増殖の最適化が求められている。また、人工繁殖技術の進展により市場価値が高まる一方で、疾病対策が課題である。現在チュウゴクオオサンショウウオの養殖規模はまだ小さく、商品開発を強化する必要がある。本稿はチュウゴクオオサンショウウオの生物学的特徴と生息地、遺伝的多様性、遺伝子資源の保護、人工繁殖と病気対策、栄養成分、産業化などを概説し、この希少種の遺伝子資源の研究、保護対策、開発と持続的な利用、及び科学の普及のための参考になることを期待している。

キーワード：チュウゴクオオサンショウウオ、遺伝的多様性、遺伝子資源、人工繁殖、疾病、産業化

解 題

ここに訳出した論文は、中華人民共和国の吉首大学の蔣万勝准教授が率いる研究チームによって、近年のチュウゴクオオサンショウウオの遺伝子資源の保護と利用に関する研究を整理した総説論文である。著者らは吉首大学生物資源・環境科学学部およびチュウゴクオオサンショウウオ資源保護・総合利用湖南省工学実験室に所属している。

近年、人間の活動が環境に与える負荷が増加する中で、チュウゴクオオサンショウウオの生息環境は悪化し続け、特に生息地の破壊や違法な捕獲、繁殖力の低さが相まって、野生種の個体数は数十年の間に急激に減少した。2004年にはIUCNにより絶滅危惧種に指定された。このような背景のもと、本稿はチュウゴクオオサンショウの保護と利用の現状を総合的に論じ、遺伝子資源の保護と適切な利用の方向性を提供することを目的としている。

チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性の保護に関しては、近年「チュウゴクオオサンショウウオ

は単一種ではなく、少なくとも5種の存在が確認される」という新たな議論が注目を集めている。従来の研究は主に生息地特性、個体群の分布、人工繁殖に焦点を当てていたが、分子生物学技術の進展により、チュウゴクオオサンショウウオが複数の隠蔽種¹⁾から構成されている可能性が示され、従来の分類、保護戦略、資源管理へのアプローチに一石を投じている。

また、チュウゴクオオサンショウウオの野生種は法的に厳格に保護されているが、人工繁殖された二世代以降は特別な水産物として利用することが許されている。本論文では、人工養殖過程での疾病、栄養成分に関する研究をはじめ、チュウゴクオオサンショウウオを原料とした食品、スキンケア製品、機能性食品などの製品開発の現状についても概観している。本論文を通じて、中国におけるチュウゴクオオサンショウウオの利用状況について理解することができるだろう。

日本では、チュウゴクオオサンショウウオに関して学術にアクセスが難しく、言語の壁もあり、チュウゴクオオサンショウウオに関する研究が日本の学者の注

目を得にくい状況である。しかし、同じオオサンショウウオ属に属する日本固有のオオサンショウウオは、形態や生態、遺伝子レベルの特徴において共通点が多くある。そのため、チュウゴクオオサンショウウオの遺伝子レベルの多様性²⁾に関する研究は、日本のオオサンショウウオの研究にも参考となり得る。

また、論文後半のチュウゴクオオサンショウウオの養殖に関する記述について、訳者は改めてその立場を明確にする必要があると考えている。この論文を翻訳する目的は、オオサンショウウオの交雑化や養殖を推進することではなく、学術的な視点から日中両国におけるオオサンショウウオを取り巻く状況の違いを明らかにすることにある。日本では、環境省が2024年7月1日から交雑種およびチュウゴクオオサンショウウオを「特定外来生物」に指定し、飼育・輸送・放流が厳しく制限されている。そのため、日本では安易な養殖や移動、放流は法律で厳しく罰せられる。一方、中国では、オオサンショウウオの利用と保護の関係がより複雑である。これは、日中両国間における生物資源の保護と利用に対する姿勢の違いを反映し、オオサンショウウオに関する中国での対処法を日本に紹介することは、学術界においても重要な議論のテーマとなるであろう。

ただし、本稿はあくまで学術的議論の素材であり、訳者自身がオオサンショウウオの消費を支持する立場を取るものではない。翻訳においても、客観的かつ中立的な姿勢を貫き、さらなる研究や議論のための基盤となることを目指している。(賀 思婷)

I. はじめに

チュウゴクオオサンショウウオ *Andrias davidianus* は、中国固有の希少種であり、現在世界最大級の両生類である。最大の個体は全長が約2 m、体重が50 kgを超える (Wang *et al.*, 2004)。両生綱 (Amphibia)、有尾目 (Caudata)、オオサンショウウオ科 (Cryptobranchidae)、オオサンショウウオ属 (*Andrias*) に属する。世界的には現在、オオサンショウウオ科には、オオサンショウウオ属のチュウゴクオオサンショウウオとニホンオオサンショウウオ *A. japonicus*、ヘルベンター属のアメリカオオサンショウウオ *Cryptobranchus alleganiensis* という2属3種しかいないと考えられており、3種が完全に隔離分布している (Browne *et al.*, 2014)。オオサンショウウオ科に属する3種は生態学的な習性が似ており、他の有尾両生類に比べて特に体型が大きいこと、オオサンショウウオ類 (The giant salamanders) と総称されることもあ

る。

チュウゴクオオサンショウウオは中国の重要な動物遺伝子資源であり、その大きな体型、独特な形質、長い進化の歴史と生態系における重要な位置づけゆえに、科学研究と生態学上重要な価値がある。それだけでなく、古代の記録から現在の研究まで多種多様な開発と利用の価値が見出されている。中国では現行の法律によると、野生のチュウゴクオオサンショウウオは国家二級保護動物であるが、人工的に繁殖された二世代目以降は水産物や他の資源として利用できる (He *et al.*, 2018)。チュウゴクオオサンショウウオは中国における両生類の保護と利用を兼ねる代表的な例として、その遺伝子資源の現状と動向が注目されてきた。しかし、近年、著者の研究チームがチュウゴクオオサンショウウオの保護と利用に関する調査を行ったところ、多数の人々はチュウゴクオオサンショウウオについて知識が浅く、特に近年の遺伝子資源に関する新しい研究の展開に対する理解が不足しており、情報の非対称性による多くの誤報や誤解を招いていたことがわかった。そこで、著者の研究チームは全面的にデータを収集し、チュウゴクオオサンショウウオの遺伝子資源の保護と利用に関する研究の進捗状況を総説することで、この希少種の遺伝子資源の研究、保護対策の策定、商品開発と持続的な利用、及び科学の普及のための参考となることを期待している。

II. チュウゴクオオサンショウウオの生物学的特徴と生息地

1. 基本的な形態の特徴

チュウゴクオオサンショウウオは皮膚が露出し、四本の手足と尾があり、体型が大きい。頭が大きく扁平で、目が極めて小さく、まぶたがない。鼻孔が吻端にあり、吻はほぼ半円形で、上顎と下顎に細かく歯が生え、咀嚼力が大きい。体幹は太く扁平で、体側面には縦方向のヒダ状の皮膚が伸びる。手足は短く太く、前足の指は4本、後ろ足の指は5本であり、爪はない。尾は長く、尾端は丸みを帯びる。頭、背中、腹、顔面には相対的にイボがあり、身体は比較的滑らかである。背中は一一般的に褐色であり、不規則な暗色斑があり、腹部は淡褐色か帯灰白色であるが、体色は環境によって異なり、暗灰褐色、黄褐色、淡灰褐色など様々である。他にも天然アルビノ変異体が確認されており、淡橙色、淡黄色、黄金色、赤褐色などを呈する。ほとんどのアルビノ個体には、胴体に不規則な暗色斑を観察することができる。チュウゴクオオサンショウウオの皮膚の下には2種類の分泌腺がある：

怯えると白いラテックス状の粘液を分泌する顆粒腺と、水っぽい透明な粘液を長時間分泌する粘液腺である。チュウゴクオオサンショウウオは特に夏によく脱皮するが、脱皮した皮膚は膜状になっている（艾・敖, 2005；林・曾, 2019）。チュウゴクオオサンショウウオに関するよくある誤解は、赤ん坊が泣くような声を出すので「娃娃魚（ワーワーユー）」と呼ばれるようになったというものだが、解剖学的研究によると、チュウゴクオオサンショウウオには声帯や発声に使われる他の器官はない。

チュウゴクオオサンショウウオは陸上でもしばらくは生きることができるが、通常はほとんど水中で生活する。幼生期のチュウゴクオオサンショウウオの主な呼吸器官は外鰓であり、幼生が9～16ヶ月齢になると、外鰓は脱落し、鰓孔は徐々に閉じていく。溶存酸素不足、低水温、高飼養密度、個体差が外鰓脱落のタイミングに影響する可能性がある（趙ほか, 2018）。外鰓脱落后、成体になるまで肺で呼吸するが、皮膚呼吸も補助的に行われている。特に、チュウゴクオオサンショウウオの体側にある縦に伸びた多数のひだは、皮膚呼吸の表面積を増やし、体全体を「鰓」として機能することができる（Browne *et al.*, 2014）。

2. 生態学的及び繁殖の特徴

野生のチュウゴクオオサンショウウオは、昼間は巣穴や岩の隙間で生活し、夜になると出てきて待ち伏せをして獲物を狩る。幼生は水生ミミズ、ミジンコ、昆虫の幼虫などの小さな無脊椎動物を食べ、成体は魚、エビ、カエル、カニ、軟体動物、水生昆虫などを食べる（林・曾, 2019；宋, 1994）。野生のチュウゴクオオサンショウウオの成体の消化器官内から幼生が頻繁に検出されることも報告されており、共食い（cannibalism）はチュウゴクオオサンショウウオの一般的な行動であることを示唆している。チュウゴクオオサンショウウオは捕獲した餌を食べるとき、一度に飲み込むため、胃の中には腐葉土や砂利が混じることが多い（宋, 1994）。人工的養殖下では通常、新鮮な魚や冷凍魚が与えられるが、動物の切り身や内臓、鶏の胚を与える養殖場もある。馴致により、チュウゴクオオサンショウウオは人工配合飼料も摂取できるようになった。チュウゴクオオサンショウウオは飢えに強く、絶食状態で数年（実験的には少なくとも11ヶ月）生存できる（Geng *et al.*, 2020）。

チュウゴクオオサンショウウオは年に一度、体外受精によって繁殖する。繁殖は毎年6月下旬から8月下旬にかけて行われ、地域や気候によっては長引くこ

ともある。性成熟年齢は野生で4～5歳、飼育下で3～4歳であり（羅ほか, 2005）、劣悪な摂食環境では遅れることがある。チュウゴクオオサンショウウオの多くは一雄対一雌（一夫一妻）であるが、擬似生態養殖条件の下で、一雄対多雌もよく発生している。野生の状態では、チュウゴクオオサンショウウオの繁殖行動を観察するのは難しい。研究チームはビデオ監視システムを使って、擬似生態養殖条件のチュウゴクオオサンショウウオの繁殖行動を観察し、チュウゴクオオサンショウウオの繁殖前行動は、オスによる砂を押す行動、シャワーを浴びる行動、求愛といった一連の行動からなる。メスはオスを追いかけて、交尾後に産卵し、オスのチュウゴクオオサンショウウオは精子を放出する。受精卵は、幼生が膜から出てきて自由に泳げるようになるまで、オスによって保護される（Luo *et al.*, 2018）。チュウゴクオオサンショウウオのメスは、長さ数メートルの数珠つなぎ状の卵を1対産み、その中には直径5～8mmの卵が300～1,500個入っており、色は帯黄白色である（費ほか, 2010）。

チュウゴクオオサンショウウオの生息水温は2～27℃、pHは6～8であり、この範囲内では、水温が高く、温度差が小さい方がチュウゴクオオサンショウウオの成長に適している（鄭ほか, 1992；鄧ほか, 2016）。チュウゴクオオサンショウウオの繁殖に最適な水温は15～25℃であり、水温の変化はチュウゴクオオサンショウウオの繁殖能力に影響を与え、流産、遅産、不産を引き起こすだけでなく、温度に対するストレス反応で親が死亡することもある。加えて、栄養、環境、年齢のすべてがチュウゴクオオサンショウウオのメスの繁殖能力に影響を与える。人工繁殖を確実に成功させるためには、通常、人工的に流水音を出すか、水流刺激を増やす必要がある。出産前と出産後1ヶ月に高たんぱく質、高脂肪、高カロリーの餌を与えることで、栄養を効果的に補うことができる（王ほか, 2016）。

3. 生息環境の特徴

野生のチュウゴクオオサンショウウオは水の深さ、洞窟の入り口の幅と高さ、水流の速さ、川底の構成、植生の特徴について選好がある。一般的には、入り口が高く、水深の変動にあまり影響を受けず、暗い川や洞窟に生息する。または、転石と川底によって形成された隙間を好む。隙間の外側の浅い場所では流速が比較的遅く、回流が形成されやすいため、餌となる生物が集まりやすい。このような生息地の選択は、潜伏性、待ち伏せして捕食する行動、そして敵から身を隠

す本能から見て合理的である。

チュウゴクオオサンショウウオは水質に対する要求が高く、洞穴の川底は主に玉石で構成されており、川水の清浄度がより確保される（陶ほか，2004）。野生のチュウゴクオオサンショウウオの洞穴に関する先行研究によると、チュウゴクオオサンショウウオの洞穴の選択には、巢穴の高さ、入り口の高さ、底部の構成、洞穴内の水質の高さ、pH、流速、餌の豊富さなど七つの要因がある（羅ほか，2007）。また、その自然生息地の特徴には、兩岸に豊かな植生があり、植生被覆率が高く（> 50%）、傾斜が大きく $[(58 \pm 17)^\circ]$ 、人為的干渉が少ないことが含まれる（羅，2009）。チュウゴクオオサンショウウオを新しい川に放流すると、彼らは深い水域を選択し、隠れ場所となる転石を好む。最終的な生息地は、転石のサイズ、河川の深さ、植生被覆率と正の相関があり、転石の距離と負の相関がある（Zhang *et al.*, 2017）。

近年、観光産業の発展がもたらした影響は避けられない。研究チームによる以前の調査では、観光客の数とチュウゴクオオサンショウウオの生息域にある巢穴の数、溶存酸素、全窒素、全リン、バクテリア、放線菌、真菌、大腸菌の数とは強く相関関係があった。そのため、観光客数を適度にコントロールすることが極めて重要である（羅ほか，2019）。さらに、観光開発による騒音も、沿岸のチュウゴクオオサンショウウオの生息と繁殖に悪影響を及ぼす可能性がある。湖北省荊門市では、セメント工場の騒音公害が原因でチュウゴクオオサンショウウオの繁殖親が死亡し、裁判で勝訴した事例がある。チュウゴクオオサンショウウオは一般的に、外部からの攪乱に対してより上流にさかのぼるため、新しい生息地を求め、水温も水位もチュウゴクオオサンショウウオの生息地の選択に影響を与える（Zheng *et al.*, 2010）。

チュウゴクオオサンショウウオは気候変動に敏感である。地球温暖化と生息地の質の低下のため、生息適地の予測はチュウゴクオオサンショウウオの将来の保護政策の策定にとって重要である。Chen *et al.* (2018) と Shu *et al.* (2021) は、チュウゴクオオサンショウウオに適した生息地をモデル化して予測した。チュウゴクオオサンショウウオの生息適地の範囲は主に陝西、貴州、湖南、四川、重慶、湖北、河南、浙江などである。Zhang *et al.* (2020) は種分布モデルを用い、チュウゴクオオサンショウウオの生息適地は主に重慶、陝西、河南、湖南、湖北、貴州を含む中国中部にあると予測した。

Ⅲ. チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性

1. 分子遺伝学的多様性

チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性に関する最初の研究は、単純な DNA 配列を遺伝マーカーとして、例えば、Murphy *et al.* (2000) はアイソザイムと 2 つの短いミトコンドリア断片（～ 300bp）に基づき、陶ほか（2005；2006）はそれぞれミトコンドリアの D ループ（771bp）と Cyt b 遺伝子（1140bp）に基づき、方ほか（2008）と呉ほか（2017）は D ループに基づき、黄ほか（2012）はミトコンドリアの Cyt b 遺伝子と ATPase6 遺伝子に基づいていくつかの野生個体群または養殖個体群を分析した。これらの研究は全体として、チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性は低く、遺伝的分化はほとんど見られないが、明らかに分化している個々の地理的クレード（例：安徽黄山）が存在することを示している。制限酵素断片長多型に基づきチュウゴクオオサンショウウオの遺伝的分化を研究する報告もある。例えば、Lin *et al.* (2003) や楊ほか（2011）は RAPD に基づいて野生個体群とその子孫の遺伝的分化を研究し、黄河系と長江系は 2 つの異なるクレードであるが、チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性の大部分は個体群内に限定し、個体群間の遺伝的分化は比較的弱いことを明らかにした。単純な塩基の反復に基づくマイクロサテライト分子マーカーもチュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性の研究に何度か使われている。例えば、孟ほか（2008）は 10 対、Meng *et al.* (2012) は 11 対のマイクロサテライトプライマーを対象に研究を展開し、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖個体群の遺伝的多様性が野生個体群の遺伝的多様性よりも明らかに低いことを示し、これは人工繁殖における近親交配が関係している可能性があることを示した。Wang *et al.* (2014；2017) は、16 対と 20 対のマイクロサテライトプライマーを開発し、それぞれ 2 つの人工養殖個体群と 3 つの天然洞窟個体群（陝西省、四川省、貴州省）の遺伝的多様性を調査した。その結果、3 つの洞窟個体群の遺伝的分化は明らかであったが、いずれも深刻な遺伝的ボトルネックを経験しており、規模の小さい洞窟個体群は早急に保護・回復する必要があることがわかった。

近年、サンプルのカバー率が高まり、より多くの分子マーカーを組み合わせることで、チュウゴクオオサンショウウオの遺伝的多様性に関する研究において新たな進展があった。Yan *et al.* (2018) は、ミトコンドリア、マイクロサテライト、一塩基多型（SNPs）などの分子マーカーを統合して、70 匹の野

生のチュウゴクオオサンショウウオ（14のサンプリング地点から、図 1-a）と 1,034 匹の養殖個体の遺伝的多様性を分析した。その結果、チュウゴクオオサンショウウオを 7つのクレードに区別することができ、そのうちの 5つ（図 1-b, A/B/C/D/E）は起源が明確な 5つの隠蔽種（cryptic species）を表し、残りの 2つ（図 1-b, U1/U2）は起源が不明確な未認識種（unrecognized species）を表すことがわかった。チュウゴクオオサンショウウオを単一種とみなしたこれまでの研究と比べて、今回の研究結果は間違いなくこれからの保全対策に新たな疑問と課題を提起した。Liang *et al.* (2019) は 33 のサンプリング地点（図

1-a）から野外採集した 320 個体のミトコンドリア D ループ配列を決定し、そのうち 19 サンプルのミトコンドリア全ゲノム配列、88 個体の核遺伝子 Rag2 配列に基づいて遺伝的多様性を分析した。解析の結果、7つのクレード（図 1-c, A'/B'/C'/D'/E'/F'/G'）が発見され、クレード間の相互関係（図 1-c）に若干の違いはあるが、Yan *et al.* (2018) によって明らかにされた 7つのクレード（図 1-b）と概ね一致していた。Liang *et al.* (2019) の研究は、これらの異なる遺伝的クレードを別種として扱うべきかどうかという問題には触れていないが、2つのチームの結果は、これまでしばらく解決されていなかった問題、すなわち、チュ

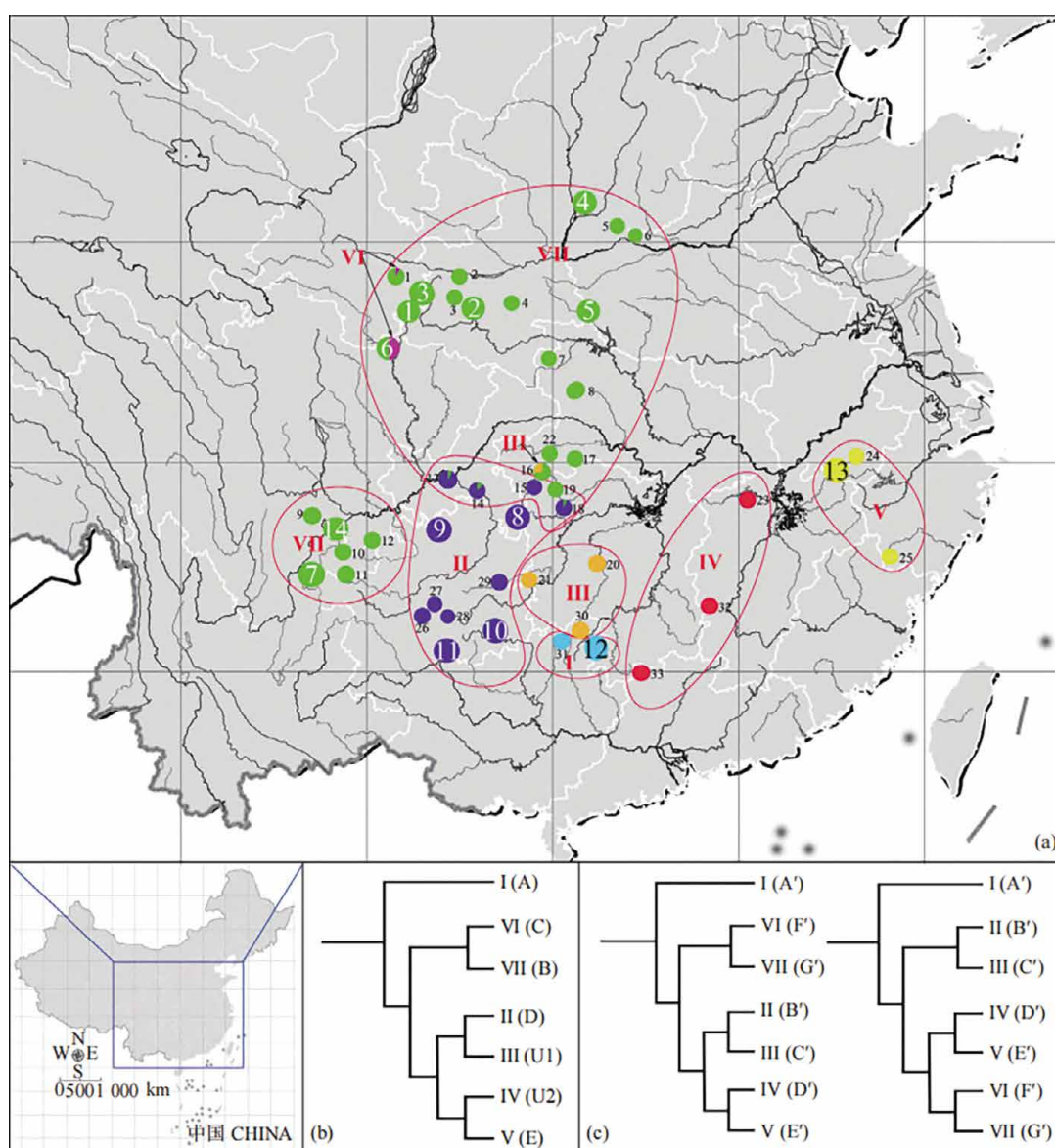


図 1 チュウゴクオオサンショウウオ（または複合種）の遺伝的研究の概要図

Fig. 1 Schematic overview of population genetic structures of *A. davidianus* (or complex species) from recent studies

(a) the sampling sites of Yan, *et al.* (number in cycle) and Liang, *et al.* (number outside cycle) and the revealed seven clades (I-VII); (b) the phylogenetic relationship revealed by Yan, *et al.* (A-E, U1, U2); (c) the phylogenetic relationship revealed by Liang, *et al.* [A'-G'], based on mitochondrial control region (left) or mitochondrial genes (right)]

ウゴクオオサンショウウオは確かに遺伝的に分化しており、明確な地理的クレードを形成しているのかどうかという問題を提起した。これは、チュウゴクオオサンショウウオ野生個体群の保護や人工飼育・放流の遺伝的管理にとって重要な資料となる。

他には、ロンドン動物学会の Turvey *et al.* (2019) が主導し、中国各地の標本室のチュウゴクオオサンショウウオ 17 標本 (1907 年から 1992 年にかけて採取されたもの) を用いたミトコンドリアゲノムに基づく種分化の研究では、チュウゴクオオサンショウウオ、無名種 (unnamed species, 黄山個体群)、華南オオサンショウウオ (*A. sligoi*) の 3 つの独立種が同定され、正式に提案された。そのうち華南オオサンショウウオは、香港植物園の標本として 1924 年に Boulenger (1924) によって記載されたが、その元の採集地は不明である (おそらく中国本土の広東省か广西チワン族自治区)。1968 年に Thorn がそれをチュウゴクオオサンショウウオの同種として言及して以来、学者によって別種説が言及されることはなく、Turvey *et al.* (2019) の研究によってはじめて別種として取り扱うようになった。現在、この種は徐々に、いくつかの権威あるデータベースに登録されるようになっていく。しかし、2020 年に筆者が IUCN の主催するチュウゴクオオサンショウウオの絶滅危惧種ステータスアセスメントに招待されたとき、Turvey *et al.* (2019) の研究は、まだほとんどのチュウゴクオオサンショウウオ研究者や関係者には知られていないと気づいた。華南オオサンショウウオに対する理解はずっと変化していること [形態学の発表 (1924 年) から、同物異名 (1968 年) を経て、別種扱い (2019 年) になるまで] は分類学的には珍しいことではないが、長年にわたり単一種として広く認識されてきたチュウゴクオオサンショウウオにとって、華南オオサンショウウオの発見は保護対策の調整に明らかに影響を及ぼしている。さらに、この種の起源自体がまだ不明であり、形態学的特徴についても系統的な研究が不足しているため、この種をめぐる議論は今後も続くと思われる。さらに、Turvey *et al.* (2019) の観点も、Yan *et al.* (2018) の観点も、生殖隔離によって種を分けるべきだという普遍的な考え方を変化させるまでにはならなかった。さらに、人工繁殖と遺伝的浸透に関する研究によると、チュウゴクオオサンショウウオの異なる個体群間に明確な生殖的隔離はないようである。また、他の個体群 (あるいは隠蔽種) の種の状態も不明であることから、チュウゴクオオサンショウウオ (あるいは複合種) の分類学的な解明は、今後より

統合的な研究によって行われる必要がある。

2. 核型及びゲノムの研究

核型は染色体の数、大きさ、形態的特徴の総称であり、チュウゴクオオサンショウウオの核型に関する研究は少ない。Zhu *et al.* (2002) はチュウゴクオオサンショウウオの血液細胞の核型を分析し、チュウゴクオオサンショウウオの染色体数は 30 対であることを明らかにし、オス個体の完全な中期分裂図と核型図を作成した。李ほか (2008) はチュウゴクオオサンショウウオのより完全な核型を得ており、染色体は大型染色体と微小染色体からなり、二型性染色体に属する; 大型染色体は 8 対の中部着糸型染色体 (metacentric) と 2 対の次中部着糸型染色体 (submetacentric)、微小染色体は 20 対の染色体からなり、そのほとんどが端部着糸型染色体 (telocentric) である。また、チュウゴクオオサンショウウオのオスとメスの核型は比較的類似している。

チュウゴクオオサンショウウオのゲノムは、ミトコンドリアと核の 2 つのゲノムからなっている。ミトコンドリアゲノムは比較的小さく、解析が容易であるため、広く研究されてきた。Zhang *et al.* (2003) は、LA-PCR (long and accurate polymerase chain reaction) を用いて、チュウゴクオオサンショウウオのミトコンドリアゲノムの全ゲノム配列をはじめて決定した。チュウゴクオオサンショウウオのミトコンドリアゲノムの長さは 16,503bp であり、13 個のタンパク質コード遺伝子、2 個の rRNA、22 個の tRNA 遺伝子を含み、tRNA-Thr 遺伝子と tRNA-Pro 遺伝子の間に 318bp の非コード配列がある以外は、ほとんどの脊椎動物と同じ配列である。チュウゴクオオサンショウウオのミトコンドリアゲノムについて、その後いくつかの研究、例えば Xu *et al.* (2018) は 4 つの野生チュウゴクオオサンショウウオのミトコンドリアの全ゲノム配列を測定し、そのゲノムの総長は、それぞれ 16,569, 16,567, 16,568, 16,499 bp であり、遺伝子構成は Zhang *et al.* (2003) の研究のそれと基本的に一致している。

チュウゴクオオサンショウウオの核ゲノムは、その大きさ (約 50GB) と両生類でよく問題とされる高い複雑性のため、まだ報告されていないが、現在の研究はほとんどトランスクリプトームに焦点を当てている。最初期の研究は Li *et al.* (2015) によって行われた。Li *et al.* (2015) はハイスループット配列決定技術を用いて、チュウゴクオオサンショウウオの脾臓と皮膚サンプルから 87,297 の転写産物を得た。転写

産物の平均長は 734 bp で、38,916 個の遺伝子が同定された。Geng *et al.* (2017) は、24 のサンプルのトランスクリプトームを配列決定し、より質の高い遺伝子セットを得た。87,297 の転写産物のうち、その平均の長さは 1,326bp で、26,135 のコード化遺伝子が得られた。他の研究では、トランスクリプトームシーケンシングを用いて、異なる対照条件下におけるチュウゴクオオサンショウウオの遺伝子発現パターンを比較している。例えば、Fan *et al.* (2015) は、脾臓のトランスクリプトーム配列決定により、チュウゴクオオサンショウウオのイリドウイルス (Chinese giant salamander iridovirus, GSIV) に感染した個体と感染していない個体の遺伝子発現の違いを解析した。Qi *et al.* (2016) は、肝臓のトランスクリプトーム配列決定により、アエロモナス・ハイドロフィラ (*Aeromonas hydrophila*) 感染個体と非感染個体の遺伝子発現の違いなどを解析した。Geng *et al.* (2020) は、3 ヶ月、7 ヶ月、11 ヶ月絶食させたチュウゴクオオサンショウウオのプロテオームの配列を決定し、飢餓に対する脂質およびアセチルコエンザイム A 代謝の調節における肝臓の中心的役割を検証した。今後、チュウゴクオオサンショウウオの様々な側面について理解を深めるため、ハイスループットなシーケンシング技術と組み合わせた条件制御実験により、さらなる研究が行われることが期待される。

近年、腸内微生物に関する研究も注目されている。チュウゴクオオサンショウウオの場合、マクロゲノムシーケンシング技術により、チュウゴクオオサンショウウオの腸内マイクロバイオーームが加齢とともに変化することが報告され (Zhang *et al.*, 2018)、また、温度と発育時期によって、腸内マイクロバイオーームが変化することも報告された (Zhu *et al.*, 2021)。さらに、チュウゴクオオサンショウウオの肺マイクロバイオーームと腸内マイクロバイオーームの組成を比較した研究もあり、これは、チュウゴクオオサンショウウオの体内の微生物構成と病気に対する免疫応答のメカニズムを理解するための別の視点を提供している (Wu *et al.*, 2019)。

IV. チュウゴクオオサンショウウオ遺伝子資源の保全 1. 絶滅の危機とその保全

チュウゴクオオサンショウウオといえ、3 億 5000 万年前のデボン紀に誕生したという通説がある。この通説は、チュウゴクオオサンショウウオの祖先である最古の両生類、ロック・サンショウウオが陸上進出した時代にまで遡ることと関係しているかもしれな

い。化石研究によると、オオサンショウウオ科の基本グループは 1 億 6 千万年前から体の構造に大きな変化がないことが示されている。したがって、その現生種は「水中の生きた化石」と呼ばれることができる (Gao *et al.*, 2003)。チュウゴクオオサンショウウオの起源をめぐる論争は、主に問題の視点と見方から生じている。現在の種分化の概念と現代の分子生物学の研究成果から、チュウゴクオオサンショウウオの起源は 1000 万年前であることが示唆されている (Yan *et al.*, 2018; Turvey *et al.*, 2019)。

チュウゴクオオサンショウウオは中国固有の希少種であり、世界の両生類保全の旗艦種である。この種の絶滅への道のりは、ここ数十年の人間活動が野生生物に与えた影響の縮図といえる。1950 年代と 1960 年代には、チュウゴクオオサンショウウオはまだ中国の黄河、長江、珠江の三大流域と南東部沿岸のいくつかの小規模水系に広く分布しており、17 の省と地域に分布していた (章ほか, 2002)。しかし、1980 年代から 1990 年代にかけてチュウゴクオオサンショウウオの数は激減した。その主な原因は 3 つある：第一に、ダム建設や森林伐採などの生息地の破壊と喪失により、生息地が分断され、島しょ化し、その結果、チュウゴクオオサンショウウオの個体数が減少ないし消滅した。第二に、高い利益を求めるための密漁は野生のチュウゴクオオサンショウウオ個体群に大きなダメージを与えた。第三に、自然状態下の回復期間が長いことがある。チュウゴクオオサンショウウオの性成熟が遅く、繁殖に必要な環境条件が高いため、生息地も個体群もダメージを受けた場合、自然回復には長い時間がかかる (Wang *et al.*, 2004; 章ほか, 2002; 張ほか, 2019; 李・姚, 2007)。

1988 年に、チュウゴクオオサンショウウオは国家第二級保護動物に指定され、その後ワシントン条約 (CITES) の付属書 I にも掲載された。2004 年には IUCN の専門家により野生個体群の 80% が絶滅したと評価され、絶滅寸前 (critically endangered) と分類された (Liang *et al.*, 2004)。さらに、チュウゴクオオサンショウウオは、その進化の歴史と絶滅危惧種であることから、世界的な保全優先種として認識されている (Isaac *et al.*, 2012)。現在、高い保護レベルにあるにもかかわらず、野外個体群の現状は依然として安心できる状態にない。2021 年の最新の IUCN 評価では、絶滅寸前レベル (未発表) にとどまっている。

野生のチュウゴクオオサンショウウオが深刻な減少をしたため、野外個体群に対する調査研究は少ない。全国規模で、チュウゴクオオサンショウウオの野生個

表 1 中国各地で調査されたチュウゴクオオサンショウウオの個体数または総重量情報

Tab. 1 Number and total weight of *A. davidianus* individuals investigated in several regions of China

省 province	調査地 survey site	数量・重量 number/weight	調査時間 survey time	参考文献 reference
河南省	盧氏県	300 尾	1990-1991	鄭ほか, 2005
安徽省	休寧など 8 県 39 郷	13.2 ~ 22.0t	1994	王, 1996
甘肅省	康県チュウゴクオオサンショウウオ自然保護区	約 4,620 尾	2016	王ほか, 2018
山西省	垣曲県	約 500 尾	2009-2010	郭, 2011
陝西省	城固県	22,778 ~ 23,786 尾	1988	劉ほか, 1991
陝西省	太白県	7,709 尾	2011-2012	王, 2012
貴州省	岩下自然保護区	1.7t	2006-2007	栗ほか, 2009
貴州省	松桃県	5,000 ~ 10,000 尾	2009	向, 2019
貴州省	正安県謝壩河	18,000 ~ 20,000 尾	2013	呉・趙, 2016
湖南省	桑植県	976 尾	2006-2007	羅ほか, 2009
湖南省	張家界市	約 2,000 尾	2006-2008	羅ほか, 2009
湖南省	隆回県オオサンショウウオ自然保護区	約 80 尾	2014	肖ほか, 2014

体群に関する調査を調べたところ、個体数が報告されているのは 7 省の一部の地域に限られる（表 1）（鄭ほか, 2005；王, 1996；王ほか, 2018；郭, 2011；劉ほか, 1991；王, 2012；栗ほか, 2009；向, 2019；呉・趙, 2016；羅ほか, 2009；羅ほか, 2009；肖ほか, 2014）。しかし、統一かつ科学的な推定方法が確立されていないため、これらの研究における推定値は実態と大きく異なる可能性がある。近年では、青海省（Pierson *et al.*, 2014）、貴州省（梵浄山、雷公山、麻陽河）など、記録されていた分布地への実地調査も行われたが（Pan *et al.*, 2016）、いずれもチュウゴクオオサンショウウオを発見できないという結果であった。2013 年から 2016 年にかけて、ロンドン動物学会が主導した調査が中国の 16 省の 97 分布地を対象に行われたが、その結果、わずか 4 カ所でしか野生のチュウゴクオオサンショウウオを発見できなかった（Turvey *et al.*, 2018）。

梁ほか（2013）は全国的に、チュウゴクオオサンショウウオの自然密度を推定し、チュウゴクオオサンショウウオの自然密度を 0.108 尾 /km² と推定した。また、面積×密度という簡単な式を用いて、チュウゴクオオサンショウウオの野生個体は約 7.50 万尾と推定した。しかし、生態環境保護部の報告によると、1978 年から 1999 年にかけては、チュウゴクオオサン

ショウウオが分布している県の面積も 528,440 km² に達したが、2000 年から 2019 年にかけては、チュウゴクオオサンショウウオの野外個体群の分布はわずか 38 県に減少し、分布している面積もわずか 85,560 km² に減少した（Zhao *et al.*, 2020）。

一般的に、自然保護区の設立は絶滅危惧種にとって望ましい保全手段である。その理由は、自然保護区は個体群と生息地の両方を保全でき、生息域内保全の効果が最も期待されるからである。1982 年以来、中国では約 53 の自然保護区が設立され（そのうち 38 は主にチュウゴクオオサンショウウオを保護する）、総面積は約 62.51 万 km² である（梁ほか, 2013）。しかし、これらの保護区における種の保全の現状や、それに関連する保全効果についての総合的な評価はなされていない。さらに、残念なことに、多くの保護区は、非合理的なゾーニング構造、生態系の健全性の違反、保全と経済発展の間の深刻な矛盾など、未解決の問題を抱えている（魏ほか, 2017）。

2. 人工増殖と放流

チュウゴクオオサンショウウオの野生個体群を回復・保護するために、人工放流もしばしば行われる保全活動であり、全国各地で広く実施されている。Shu *et al.* (2021) は、文献資料、インターネット検索、

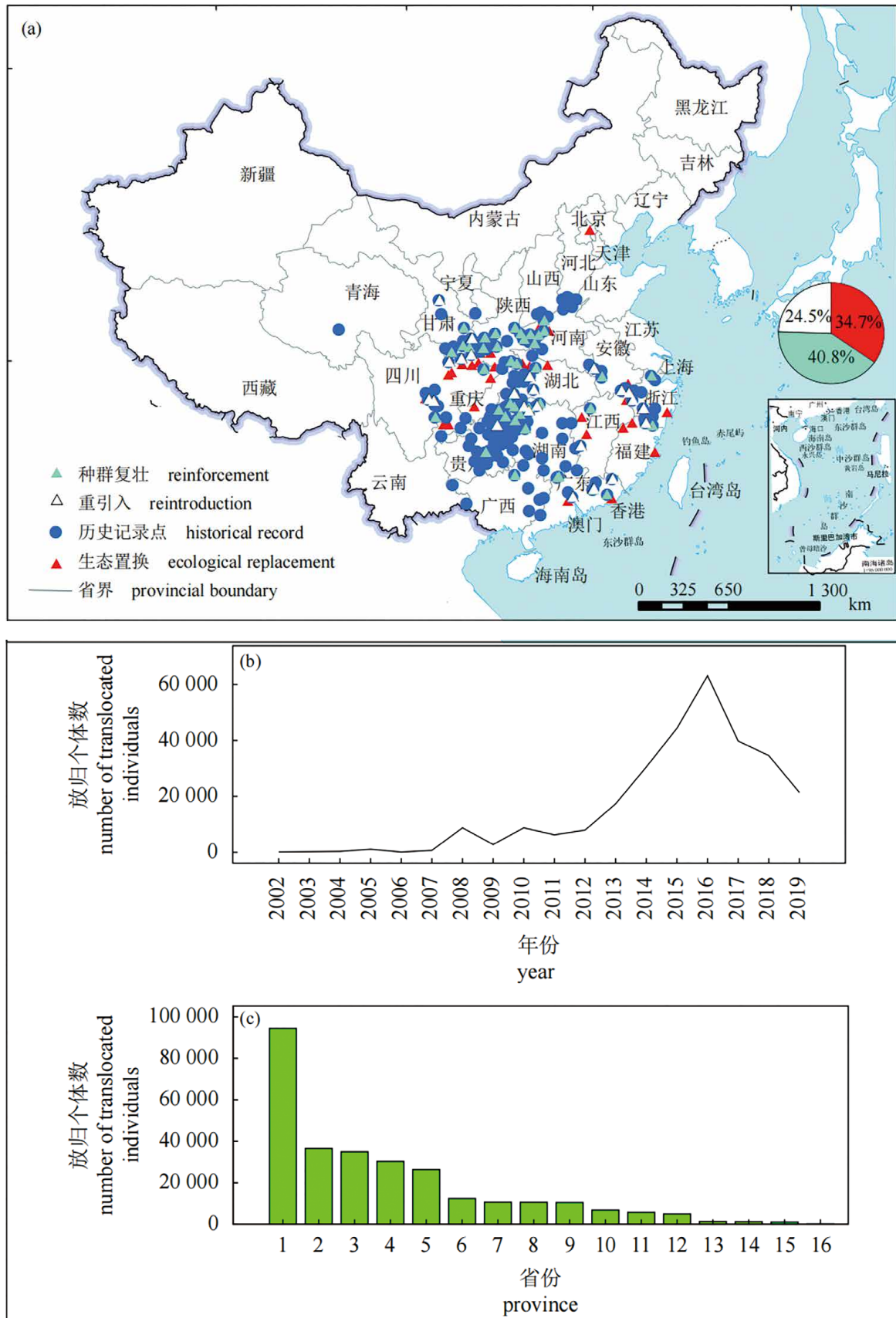


図2 チュウゴクオオサンショウウオ人工放流の概況 (Shu *et al.*, 2021, 趙天 製図)

Fig. 2 Overview of the *A. davidianus* translocations (Shu, *et al.*, 2021, courtesy of Zhao Tian)

(a) translocation sites (triangles) and types; (b) transition in number of the translocations since 2002; (c) the number of translocations across different provinces in China: 1. Shaanxi, 2. Gansu, 3. Hunan, 4. Sichuan, 5. Jiangxi, 6. Henan, 7. Hubei, 8. Anhui, 9. Zhejiang, 10. Fujian, 11. Chongqing, 12. Guangdong, 13. Guangxi, 14. Guizhou, 15. Yunnan, 16. Beijing. Red, blue and white indicate the rates of translocations aimed at ecological replacement, reinforcement and reintroduction respectively.

漁業部門から提供された情報に基づき統計調査を行った。その結果、2002年から2019年10月末までにかけて、中国中部と南部の16省（市）の計98県・市には、計287,840匹のチュウゴクオオサンショウウオが放流されたことがわかった（図2-a）。実際には、すべての放流が報告されているわけではないため、チュウゴクオオサンショウウオの放流数も過小評価されている可能性がある。時系列的にみれば、放流数は2008年から2012年にかけて徐々に増加し、2013年から2015年にかけて急激に増加したが、2016年をピークに減少している（図2-b）。地域別では、2002年以降、陝西省では放流数が最も多く、合計94,464匹、次いで甘肅省、湖南省で、対照的に北京の放流数は最も少ない（図2-c）。チュウゴクオオサンショウウオの人工放流事業のうち、40.8%は個体群回復のため、つまり既存の同種の個体群に意図的に放流したものであり、24.5%は再導入のため、つまり人工的に繁殖されたチュウゴクオオサンショウウオをすでに消滅した野生域に放流したものであり、34.7%は生態系置換のため、つまり元々記録されていた範囲外に放流したものである（Shu *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2020）。

人工増殖と放流はチュウゴクオオサンショウウオを保護するための重要な手段の一つとなっており、規模の大きさ、放流個体数の多さ、放流範囲の広さが特徴であるが、実際の放流効果については議論がある。一方で、大量の人工放流に対するモニタリングと評価が不足している。全国98の県と市におけるチュウゴクオオサンショウウオの人工放流の規模を見ると、湖南省の張家界、陝西省の洛陽、秦嶺地区、安徽省率水河、浙江省の古田山など少数地域しか放流個体群の追跡調査がされてない。また、一般的に放流個体群の生存率は低いか、効果がないと考えられている（張, 2013; 林ほか, 2017; 羅ほか, 2009）。浙江省の古田山だけでは、チュウゴクオオサンショウウオ個体群の放流モニタリングの結果、生存状態が良好で、自然繁殖が可能であることが示され、顕著な成果が得られたと考えられている（劉ほか, 2021; Cunningham *et al.*, 2016）。一方、現在の人工放流では、遺伝的リスク管理がほとんど考慮されていない。近年の研究によると、現在放流源として用いられている人工繁殖個体群の中では、遺伝的な均質性が非常に深刻な問題であり、大規模な放流は遺伝的汚染、疾病伝播、生態学的安全性に大きなリスクをもたらす可能性があることが示されており（Cunningham *et al.*, 2016）、すべての人工放流活動の一時停止を求める声もあった（Lu *et al.*, 2020）。

全体として、人間活動の影響を受けてチュウゴクオオサンショウウオの野生個体群が減少し、絶滅の危機に瀕していることは、現に起こっている事実である。しかし、現在主流となっている2つの保全方法にはいくつかの問題点が存在している。自然保護区の設置を中心とした生息域内保全対策は、全般的にアセスメントが不十分であり、多くの保護区では機能的ゾーニングが不合理であるため、保全効果も十分とはいえない。また、人工増殖や放流を中心とした生息域外保全対策も、生存率の低さや遺伝的汚染などの潜在的な問題を抱えており、放流後のモニタリングやその効果に対する評価も不十分である。このようなことから、チュウゴクオオサンショウウオの保護に関する科学的研究を増やし、実質的なデータや知見に基づいた科学的な保護プログラムを開発・改善することが、今後のチュウゴクオオサンショウウオの保護において重要な役割を果たすと考えられる。

V. チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖と疾病

1. 人工繁殖技術

チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖には長年の蓄積があり、1958年に貴州省では中国で初めてチュウゴクオオサンショウウオの繁殖実験が行われ、1978年には張家界市桑植県チュウゴクオオサンショウウオ研究所が湖南省水産科学研究所とともに、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖に初めて成功した（陽・劉, 1979）。その後、中国水産科学研究院長江水産研究所（1989年）と南昌大学（2000年）もチュウゴクオオサンショウウオの繁殖に成功した（伍ほか, 2015）。関連する人工繁殖技術も開発が進み、成熟してきた。例えば、劉ほか（1999）はチュウゴクオオサンショウウオの親の選択、人工助産、人工授精、人工孵化、幼生の育成などのプロセスを体系的に報告した。技術の発達に伴い、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖は1990年代後半から急速に発展し、中国の特種水産品繁殖産業の重要な対象の一つとなった。

現在、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖・養殖には、主に模擬生態型と完全人工型の2つのモードがある。このうち、模擬生態型は、野生下のチュウゴクオオサンショウウオの交尾をモデルにして産卵・繁殖させるもので、出生率と生存率が高く、安定した量と高い品質の幼生を繁殖させることができる（梁, 2007）。しかし、この方法は広大な土地を要するため、大規模な人工繁殖には適用できない。一方、完全人工型の技術も徐々に発達してきており、幼生の繁殖は、

より人工的にコントロールできるようになってきている。浙江永強、湖南潤孚、張家界金鯢、珠海斗門、広州華宝などの企業が完全人工繁殖技術でチュウゴクオオサンショウウオの第二世代幼生の繁殖に成功したと報告されている（伍ほか、2015）。また、模擬生態技術によって幼生を獲得し、完全人工条件下で繁殖させ、幼生の自家生産・自家供給を実現する企業も多い。

全体として、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖と養殖技術は発達してきたが、幼生の個体数の保証と品質管理にはまだ技術的課題が残されている。研究チームはビデオモニタリング技術を通じて、チュウゴクオオサンショウウオの人工繁殖に関するより詳細な特性や環境パラメータを得ており（Luo *et al.*, 2018）、それはチュウゴクオオサンショウウオの繁殖効率をさらに向上させるための一定の科学的根拠となっている。

2. 人工養殖における疾患研究

動物が野生環境から人工環境へと移行して集約化が進むと、疾病は避けられない現実的な課題である。チュウゴクオオサンショウウオの疾病も、人工養殖の規模が大きくなるにつれて徐々に現れるため、チュウゴクオオサンショウウオの養殖業にとって一つの障壁にさえなっている。現在、チュウゴクオオサンショウウオに関する疾病には、ウイルス性、細菌性、真菌性、寄生虫性などがある。

ウイルス性疾患：現在、チュウゴクオオサンショウウオ養殖における最も深刻な疾病は、チュウゴクオオサンショウウオのイリドウイルスによるものであり、チュウゴクオオサンショウウオのラナウイルス（*A. davidianus* ranavirus, ADRV）とも呼ばれる。名称は統一されていないが、この疾病を引き起こすウイルスの配列は類似しており、いずれもイリドウイルス科のイリドウイルスに属する。イリドウイルスは主に魚類、両生類、爬虫類に感染し、従来の養殖に最も深刻な害をもたらすウイルスの一つであった（周ほか、2015）（周ほか、2015）。2009年、甘粛省隴南市と陝西省漢中市の養殖場でチュウゴクオオサンショウウオの大規模な死滅がイリドウイルス感染によって引き起こされたことが確認され、これは中国でチュウゴクオオサンショウウオの養殖に悪影響を及ぼすイリドウイルスについて最初の報告であった（Geng *et al.*, 2011）。病気になったチュウゴクオオサンショウウオの特徴として、食欲の減衰あるいは消失、嘔吐、体表の粘液分泌の増加、倦怠感、川底に横たわるなどがあ

る。主な外見的特徴は、鰓の出血、頭部、四肢、腹部の腫れと出血斑、背中に白い病巣があり、ひどい場合は病巣が潰瘍化し、四肢の皮膚の壊死、筋肉の潰瘍化、さらには四肢が切れることもある。解剖すると、腹腔内に大量の黄色的または血を含む液体があり、腫大した肝臓は灰白色またはうっ血があり、腫大した脾臓は紫黒色で、腫大した腎臓に出血があり、肺嚢にうっ血や出血がある（耿ほか、2010）。

イリドウイルスはチュウゴクオオサンショウウオ養殖農家に甚大な損失を与えており、チュウゴクオオサンショウウオ養殖業の発展に深刻な製約を与えるほどである。ウイルス性疾患の治療に有効な薬剤がないため、チュウゴクオオサンショウウオのイリドウイルスの予防とコントロールは日常的な管理とワクチンによる予防に頼っている。日常的な手入れの主な目的は、感染源を排除し、感染経路を絶ち、病気の個体を適切に隔離して治療することである。幼生のチュウゴクオオサンショウウオに GSIV ワクチンを注射することも有効な予防手段であり、現在、少量のワクチンが試験生産されている（張ほか、2020）。

細菌性疾患：現在報告されているチュウゴクオオサンショウウオの主要な細菌性疾患には、癰病、赤皮病、打印病、尾腐れ、口腐れ、腹水病、皮膚腐敗病、白点病、出血病などが含まれる。病原体の細菌には、エロモナス属（*Aeromonas punctata* f. *furunculus*）、シュードモナス属（*Pseudomonas fluorescens*）、エロモナス・プンクタータ点状亜種（*A. punctata* sub. *punctata*）、エロモナス・ベロニー（*A. veronii*）、エロモナス・サルモニシダ殺サケ亜種（*A. salmonicida* sub. *salmonicida*）、フレキシバクター属（*Flexibacter* sp.）などが含まれる。細菌感染の症状は多様であり、最も一般的なのは肝臓などの内臓の肥大と充血、腹水の増加、体表の糜爛、食欲減退、活動力低下、バランス喪失などである（王ほか、1999；徐ほか、2010；鐘ほか、2009）。細菌性疾患は一般的に抗生物質で治療されるが、特に感染後期では、複数の異なる病原菌による細菌性感染症候群が多く見られ、抗生物質の組み合わせで治療されることがある。しかし、抗生物質の特異性や感受性に関する研究は依然として限られており、ほとんどの養殖場では病原体の特定ができないため、細菌感染への対応は経験に頼るしかないのが現状である。

真菌性疾患：最も一般的な真菌性疾患は、水カビ属（*Saprolegnia* sp.）、アクラ属（*Achlya* sp.）またはアフノマイセス属（*Aphanomyces* sp.）の真菌によって引き起こされる水カビ病である。感染したチュウゴク

オオサンショウウオは動きが遅くなり、食欲が減退し、体が痩せて最終的には死亡する。初期感染部位には縁がはっきりしない小さな白点が見られるだけであるが、その後徐々に綿毛状の菌糸が成長する。研究によれば、機械的損傷や寄生虫の侵入による外傷を受けたチュウゴクオオサンショウウオは水カビ病に感染しやすいことが示されている（李ほか，2008）。また、水温の急激な変化や死卵の堆積も水カビ病の重要な要因である（安ほか，2009）。治療には、肉眼で見える菌糸部分を綿棒で拭き取り、クロトリマゾールなどの広範囲に効果のある抗真菌薬を塗布する方法が一般的である。近年の研究では、植物由来の中薬製剤が水カビ病に一定の効果があることが示されている。例えば、李ほか（2010）の研究によれば、大黃と五倍子の薬液が水カビ菌に対して良好な抑制作用を持つことが報告されている。

寄生虫病：自然生育状態下では、チュウゴクオオサンショウウオの体内にも寄生線虫が存在するが、一般的にはそれほど深刻ではない。養殖チュウゴクオオサンショウウオに危害をもたらす寄生虫は、餌料生物に含まれる線虫が多い。主要な線虫病（*Philometra* sp. および *Capillaria* sp.）の他に、吸虫病（*Diplostomulum* sp.）、車輪虫病（*Trichodina* sp.）、アイメリア球虫病（*Eimeria* sp.）などがある（何ほか，1992；張・楊，1997）。寄生されたチュウゴクオオサンショウウオは、拒食、行動の減少、次第に痩せるなどの症状を示す。重度の被害を受けた場合、皮膚が充血して炎症を起こし、さらには軽度の腐敗を起こすこともある（張ほか，2021）。寄生虫病の予防には、養殖池を定期的に消毒洗浄し、広範囲に効果のある薬物（例えば、敵百虫）を飼料に添加して投与する方法が用いられる。

その他の疾病・負傷：チュウゴクオオサンショウウオの養殖過程におけるその他の疾病・負傷は、主に非病原微生物によって引き起こされ、多様なタイプが存在する。物理的な負傷が最も一般的であり、これはチュウゴクオオサンショウウオが餌やスペースを巡って争う際に発生する。負傷後には、病原微生物の感染リスクが増加する。早期のグループ分けや定期的な適量給餌が機械的損傷を防ぐ重要な要素である。また、養殖水中の酸素や窒素の含有量が高すぎることによる気泡病、酸素不足による浮頭病、脊椎の湾曲変形による彎体病なども発生する（李・程，2017）。これらの疾病は予防と管理が重要であり、日常的な管理を強化することで、問題が長期化し大きな経済的損失を招くことを避けることが求められている。

VI. チュウゴクオオサンショウウオの栄養および活性成分と産業化利用の現状

チュウゴクオオサンショウウオは、我が国の伝統的な食材として数千年の食用の歴史を持つ。『本草綱目』、『本草経集注』、『本草拾遺』、『西澤補遺』などの古書にも、チュウゴクオオサンショウウオ（または「娃娃魚」）の食用および薬用の記載が見られる。現代の科学研究でも、チュウゴクオオサンショウウオは優れた栄養成分と生物活性成分を含み、食品加工、化粧品、医薬品などの分野で利用の可能性が認められつつある（He *et al.*, 2018）。その主要な栄養成分には、タンパク質、脂質、ミネラル、ビタミンなどがあり、機能活性成分にはコラーゲン、活性ペプチド、多糖ペプチド、脂肪酸などが含まれる（耿ほか，2013）。チュウゴクオオサンショウウオの肉は水産物としての食用が主であるが、その粘液、皮膚、肉、骨には多くの生物活性物質が含まれており、抗老化、抗疲労、抗腫瘍、火傷治療、抗感染など多くの生理効果がある。これらの薬食同源の特性から、チュウゴクオオサンショウウオを利用した製品開発と産業化利用が進展している。

1. チュウゴクオオサンショウウオの栄養成分

タンパク質とアミノ酸組成 チュウゴクオオサンショウウオの筋肉は、水分（約 80%）を除くと、主要な栄養成分は粗タンパク質（約 16%）である。現在までに 10 余篇の論文がチュウゴクオオサンショウウオの筋肉や他の組織の栄養成分分析を行っており、ほとんどの研究が、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉における必須アミノ酸とアミノ酸総量の比率が 40% 以上、必須アミノ酸と非必須アミノ酸の比率が 60% 以上、必須アミノ酸係数が 65.93% から 81.65% と高く、FAO/WHO の高品質タンパク質の理想モデルに合致していることを示している（He *et al.*, 2018）。具体的には、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉タンパク質は 18 種類のアミノ酸で構成されており、その中には 8 種類の必須アミノ酸と 6 種類の呈味アミノ酸が含まれており（劉ほか，2010）、その含量はそれぞれアミノ酸総量の 45.38% と 43.63% を占める（羅，2010）。非必須アミノ酸の中でグルタミン酸の含量が最も高く、2.43% に達する。必須アミノ酸の中ではリジンの含量が 1.47% と高く、これは穀物を主食とする我が国の人々のリジン不足を効果的に補うものである（劉ほか，2010）。

脂肪と脂肪酸組成 チュウゴクオオサンショウウオの脂肪組織は主に尾部の 2/3 から尾尖に集中している（李ほか，2010）。筋肉は主要な脂肪貯蔵組織ではな

いが、少量の脂肪酸を含んでいる。王ほか（2011）は、筋肉から 11 種類の脂肪酸を検出し、そのすべてが C20 以下の脂肪酸であった。一方、尾脂からは 14 種類の脂肪酸が検出され、筋肉よりも不飽和脂肪酸が 3 種類多く含まれている。筋肉中の飽和脂肪酸含量は 27.68%，不飽和脂肪酸含量は 72.32%，尾脂中の飽和脂肪酸含量は 25.70%，不飽和脂肪酸含量は 74.20% であり、尾脂中の不飽和脂肪酸含量が筋肉よりも高い。黄ほか（2009）の研究では、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉の不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸の比率が 3.15 であり、牛肉、豚肉、鶏卵、エビ、ナマズなどの食品よりも高いことが示されている。李・咎（2010）は、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉の脂肪から 13 種類の脂肪酸を検出し、不飽和脂肪酸の中で一価不飽和脂肪酸（MUFA）が 42.8%，多価不飽和脂肪酸（PUFA）が 28.5% であることを示した。特に健康機能性のある ω -6 型 PUFA が 13.0%， ω -3 型 PUFA が 15.5% を占め、 ω -6 型と ω -3 型 PUFA の比率が 0.8 で、ほぼ 1 に近く、人体の栄養健康機能に非常に理想的であり、特に DHA の含量が豊富である（劉ほか，2009）。チームは初期段階で常圧皂化水解法と低温結晶法を組み合わせオオサンショウウオ油の不飽和脂肪酸を濃縮し、MUFA 含量を 3.91%，PUFA 含量を 10.29% 向上させました。その中で、EPA と DHA 含量は合計で 5.47% 向上し、優れた応用の見込みがある（羅ほか，2016）。

ミネラルおよびビタミン チュウゴクオオサンショウウオの肉中の微量元素は、マグネシウム、亜鉛、鉄、カルシウム、リン、マンガン、銅の順に含まれており、特に亜鉛、マンガン、銅が豊富であるため、人間がミネラルを補給するための優れた食材である（黄ほか，2009）。その亜鉛と鉄の比率は 3.2 で、適正範囲に属している（艾ほか，2008）。チュウゴクオオサンショウウオの肉中の亜鉛含量は魚、エビ、カニ、貝類よりも高く、100 グラムあたりの軟骨と筋肉が提供する亜鉛は、それぞれ成人男性の推奨摂取量（RNI）の 34.3% と 26.3% に達する。同様に、カルシウムの含量も非常に高く、100 グラムあたりの軟骨には、成人男性の適正摂取量（AI）の 61.6% が含まれている。チュウゴクオオサンショウウオの肉中にはセレンも多く含まれており、100 グラムあたりの軟骨と筋肉が提供するセレンは、それぞれ成人男性の RNI の 80.6% と 76.2% に達する（劉ほか，2010）。いくつかの地域で検出されたチュウゴクオオサンショウウオの肉中のセレン含量は、富セレン標準（0.02 ～ 0.20 mg/100 g）に達している（王ほか，2015）。ビタミンに関する研

究は劉ほか（2010）の研究に限られており、彼らの測定によると、チュウゴクオオサンショウウオの肝臓中のビタミン V_{B1} 、 V_{B2} 、 V_A 、 V_D およびニコチン酸の含量は、それぞれ 0.8、3.7、11.34、0.017 および 21.9 mg/kg である。100 グラムあたりの肝臓が提供する VA は、成人男性の RNI の 41.8% に、 V_D は成人男性の AI の 34% に達する。全体的に見て、チュウゴクオオサンショウウオは人間にとって良好なミネラル元素とビタミンの供給源である。

2. チュウゴクオオサンショウウオの生理活性成分

チュウゴクオオサンショウウオは広く報告されている薬用価値を持ち、その皮膚、肉、粘液、骨などの各部位と成分が薬として利用される。『本草綱目』や『本草拾遺』などの薬典では、チュウゴクオオサンショウウオが滋陰補氣、益智、養血などの効果を持ち、病後の虚弱や神経性疾患、貧血などの治療に優れた効果があると記されている（耿ほか，2013）。胡（2017）や He *et al.*（2018）等は、チュウゴクオオサンショウウオの活性ペプチドなどの生理活性成分に関する関連研究を行っており、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉、肝臓、脂肪、粘液、皮膚、軟骨などの各部位には、それぞれ異なる生物活性因子が豊富に含まれていることが分かっている。（図 3）これらの活性成分の数は 70 種類以上に達し、人体の生理活動を促進し、基礎代謝を改善し、タンパク質合成を促進し、免疫機能を調節し、病気に対する抵抗力を高めるなどの効果がある。以下の本文では、活性成分の組織分布に基づき、現在主に注目されている粘液多糖ペプチド、皮膚コラーゲン、生物活性ペプチドおよびその他の組織活性成分について簡単に概説する。

粘液多糖ペプチド：糖ペプチドは生理活性ペプチドの一種であり、糖タンパク質が加水分解されて糖鎖を持つ小分子ペプチドに分解されるものである。Qu *et al.*（2011）は、アスペルギルス属酸性プロテアーゼ（*Aspergillus* sp. acid protease）を利用してチュウゴクオオサンショウウオの体表粘液を酵素分解し、分子量が 3,500 u 以下のチュウゴクオオサンショウウオ低分子糖ペプチドを得た。化学的方法で測定したところ、チュウゴクオオサンショウウオ低分子糖ペプチドの総タンパク質含量は 80.01%，総糖含量は 15.15% であった。李ほか（2011）は、複合プロテアーゼを用いて酵素分解し、最適な酵素分解条件（酵素の加量、基質濃度、酵素分解時間、酵素分解生成物など）を研究した。金ほか（2011）は、皮膚粘液中の低分子糖ペプチドがフリーラジカルを除去する作用を持ち、しかも

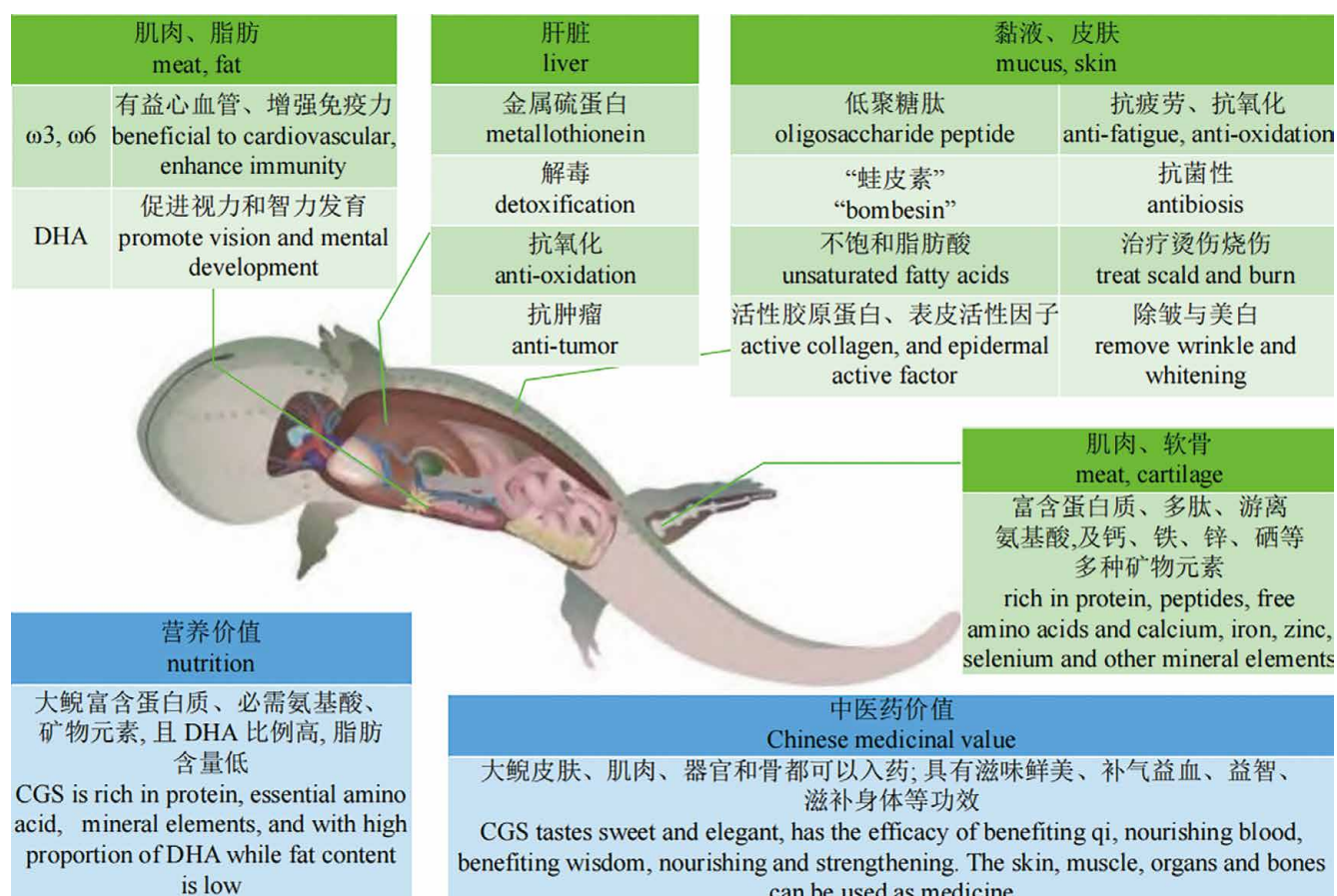


図3 チュウゴクオオサンショウウオの生理活性成分 (He *et al.*, 2018)
Fig. 3 Bioactive substances of the captive-bred *A. davidianus* (He, *et al.*, 2018)

その作用が用量依存的であることを発見した。その後の一連の研究で、チュウゴクオオサンショウウオ多糖ペプチドには免疫機能の促進、体外抗酸化活性、抗疲労作用、抗紫外線能力、抗血小板凝集、四塩化炭素によるマウス肝障害の保護、およびヒト肺癌細胞に対する明確な抑制作用などがあることが示されている (Qu *et al.*, 2011; 陳ほか, 2015; 徐ほか, 2015; 徐ほか, 2015; 王, 2015)。したがって、食品、健康食品および薬品分野で広範な応用の見込みがある。

皮膚コラーゲン：コラーゲンは重要な機能性タンパク質であり、栄養および生物活性に関する価値を有する (李ほか, 2015)。その得率は酵素分解の過程に依存する。複数の研究が異なる酵素分解抽出法を利用して、チュウゴクオオサンショウウオの皮のコラーゲン抽出効率と成分を分析している。顧ほか (2014) は、チュウゴクオオサンショウウオの皮から純化後に酸溶性コラーゲン (acid-soluble collagen, ASC) とペプシン溶性コラーゲン (pepsin-soluble collagen, PSC) の二種類の異なるコラーゲンを得て、その理化学的特性を研究した。李・曲 (2014) の研究によると、高温高圧法はチュウゴクオオサンショウウオの皮のコラー

ゲンペプチドの抽出率を顕著に向上させる作用があり、最適条件下での抽出率は 80.76% に達する。生物活性の面では、李・曲 (2014) の研究により、チュウゴクオオサンショウウオの皮のコラーゲンペプチドはエタノール誘発マウス肝損傷を保護する作用があることが示されている。周ほか (2019) の研究では、彼らが調製したコラーゲン抗酸化ペプチドがヒドロキシルラジカルの除去率 83.15% を示すことが明らかになっている。要するに、チュウゴクオオサンショウウオの皮は厚く、ゼラチン成分が多く、コラーゲン含量が 22.31% に達し、チュウゴクオオサンショウウオの皮の総タンパク質の 79.65% を占めるため、多様な開発価値がある (李ほか, 2015)。

筋肉活性ペプチド：チュウゴクオオサンショウウオの個体は大きく、筋肉含量が多く、利用可能な組織の中で最も割合が高い部分である。王ほか (2012) は、アスペルギルス属酸性プロテアーゼ (原文表示) を利用してチュウゴクオオサンショウウオの肉を酵素分解し、最適な工程条件を得た。彼らの抗酸化実験では、酵素分解生成物がヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$) および DPPH ラジカルの除去能力が濃度の上昇に伴って

強くなり、最大で80%に達することが示された。付ほか(2012)の多酵素比較研究では、Protamex 酵素分解生成物のペプチド収率が最も高く、正交試験によりチュウゴクオオサンショウウオの筋肉粉のProtamex 酵素分解の最適条件が確立された。徐ほか(2015)は、異なるプロテアーゼの組み合わせ効果を研究し、最適な酵素分解の組み合わせは中性プロテアーゼと風味プロテアーゼであり、その最適酵素分解工程条件を得た。鮑・余(2014)は、チュウゴクオオサンショウウオの生物活性ペプチドの応答面抽出工程を研究し、スポーツドリンクの開発を行った。楊ほか(2009)は、ショウジョウバエをモデル動物として、チュウゴクオオサンショウウオの肉がその老化を遅延させる効果があることを示した。蔡ほか(2015)は、マウスモデルを用いて、チュウゴクオオサンショウウオの肉タンパクペプチドがマウスの抗老化能力を顕著に強化することを証明した。要するに、最も豊富な活性成分の供給源として、チュウゴクオオサンショウウオの筋肉活性ペプチドは大きな開発潜力を示している。

その他の組織の活性成分：上述の主要な活性ペプチドの他に、王ほか(2011)は電気刺激法を利用して初めてチュウゴクオオサンショウウオの皮膚分泌粘液から抗菌ペプチドを分離純化し、それが緑膿菌(*Pseudomonas aeruginosa*)に強い抑制作用を持つことを明らかにした。Pei *et al.* (2017)は、抗菌ペプチドを分離してそのアミノ酸配列(AIGHCLGATL)と分子量(955.14 u)を測定し、それをAndricin 01と命名した。このペプチドは、一般的なグラム陽性およびグラム陰性菌に対して広範な抗菌活性を持つことが確認された。また、チュウゴクオオサンショウウオの皮膚分泌粘液には、多種の「フロッグスキンペプチド」が含まれており、強い抗菌作用を持つことが報告されている(張, 2001)。さらに、チュウゴクオオサンショウウオの肝臓には多量の「メタロチオネイン」が含まれており、これは人体の有害な「フリーラジカル」を除去し、有害な重金属イオンを結合して「解毒」作用を発揮する。また、血液微小循環を改善し、免疫力を強化し、老化を遅延させる効果もある(He *et al.*, 2018)。しかし、チュウゴクオオサンショウウオの「フロッグスキンペプチド」、「メタロチオネイン」およびその他の活性成分の科学的分離、同定、機能成分については、さらなる具体的な研究が必要である。

3. チュウゴクオオサンショウウオの人工養殖の現状

人工養殖産業の概況 野生のチュウゴクオオサンショウウオを保護しつつ、チュウゴクオオサンショウウオの資源を開発利用するために、1980年代から各地で関連政策や補助金が順次発表され、チュウゴクオオサンショウウオの人工養殖が奨励されてきた。人工養殖の初期段階では、情報が乏しく、技術が限られていたため、人工繁殖の生存率も高くなく、養殖規模は小さかった。しかし、チュウゴクオオサンショウウオ産業の経済効果が明らかになるにつれて、各地でチュウゴクオオサンショウウオ産業の展開が積極的に進められ、規模と技術の両面で大きな進歩が見られた。21世紀初頭には各地でチュウゴクオオサンショウウオ養殖産業が急速に発展し、現在では人工養殖技術が成熟しつつあり、市場前景が明るい新興養殖種となっている(王ほか, 2020)。また、2021年版の『国家重点保護野生動物名録』においても、保護対象は野生チュウゴクオオサンショウウオに限ることが明確にされている。

2015年の調査によると、全国の養殖量は約1,249万尾であり、そのうち100万尾以上の養殖量があるのは4省である。最も多いのは陝西省で約363.8万尾、次いで浙江省が約241.6万尾、三番目は広東省で150万尾である。10万尾以上の養殖量を持つ省は9省である。チュウゴクオオサンショウウオを養殖する企業は2,622社あり、そのうち飼育繁殖許可証を取得している企業は2,080社である(全国水生野生動物保護分会, 2015)。2018年には全国のチュウゴクオオサンショウウオ幼生の総生産量が1,000万尾に近づき、2019年にはチュウゴクオオサンショウウオの在庫量が3,000万尾に達した。チュウゴクオオサンショウウオの総量の急速な増加は、チュウゴクオオサンショウウオ資源のさらなる開発利用に強力な保障を提供している。しかし、市場の供給需要の変化、人工養殖数の増加、近年の新型コロナウイルス感染症の影響など複数の要因により、養殖チュウゴクオオサンショウウオの価格は大きな変動を見せている。価格は1970年代の10元/kgから2010年頃には2,000元/kgへと200倍の成長を見せたが、2015年以降は価格が持続的に下落し、1kgあたりの市場価格が100元まで下落した。近年は感染症の影響で価格が低迷し続け、販売が滞っており、多くの養殖場が存続困難に直面している。全国各地に多くのチュウゴクオオサンショウウオ養殖産業が存在するが、管理、サービス、市場、研究開発などの面でまだいくつかの問題がある。人工養殖チュウゴクオオサンショウウオは新興の水産物種とし

て、他の主要な水産物と比べて市場規模が依然として小さい（王ほか，2020）。その産業発展にはさらなる計画，指導，研究，および実施が必要である。

4. チュウゴクオオサンショウウオ製品の開発の現状

冷蔵または添加食品 チュウゴクオオサンショウウオは数千年の食用の歴史を持つ伝統食材であり、主にその美味しさと豊富な栄養価が評価されている。生鮮または冷凍食品はチュウゴクオオサンショウウオの最も一般的な利用方法である。さらに、チュウゴクオオサンショウウオは火鍋、缶詰、ミートソース、干物、麺、フーン、ビスケット、酒などの添加食品としても加工されている。現在、最も一般的に販売されているのはチュウゴクオオサンショウウオ麺であり、一定割合のチュウゴクオオサンショウウオ肉粉と小麦粉を主要原料として混合し、押し出して麺に加工したものである（張ほか，2019）。

健康食品または機能性食品 チュウゴクオオサンショウウオの生理活性成分を抽出し、機能性食品として開発することは、チュウゴクオオサンショウウオ製品の高付加価値利用の一つの主要な方法である。現在開発されている製品には、チュウゴクオオサンショウウオ蛋白粉、蛋白ペプチド粉、凍結乾燥粉、骨質多ペプチド粉、低聚糖ペプチド類固体飲料および果汁飲料などがある。現在の製品は主に口当たりと安全性に重点を置いているが、機能性食品としての普及およびその健康効果の具体的なメカニズムはまだ完全に解明されていない。しかし、市場の認知度と再購入率から見ると、この種の製品は依然として大きな開発潜在力を持っており、それに対する科学研究と応用への転換が必要である。

スキンケア製品 チュウゴクオオサンショウウオのスキンケア製品の基礎は、チュウゴクオオサンショウウオ粘液多糖ペプチドおよび皮コラーゲン活性成分の分離と活性研究に由来している。チュウゴクオオサンショウウオ粘液多糖ペプチドの抗酸化性、抗紫外線活性、およびチュウゴクオオサンショウウオ皮コラーゲンの抗酸化活性は一定の実験で確認されている（Qu et al., 2011; 蘭ほか，2010）。現在市場で販売されている製品には、チュウゴクオオサンショウウオマスク、クレンジー、エッセンス、生物機能石鹸などがある。

その他の製品 チュウゴクオオサンショウウオの生物学的特性および生物活性を利用して、その他の製品も開発されている。例えば、チュウゴクオオサンショウウオの皮膚分泌物、脂肪および皮膚を適切な基質と混合して作られた軟膏類は、マウスの熱傷および凍傷

後の創面治癒時間を短縮し、人体の熱傷および凍傷創面の治癒を促進する作用がある（万ほか，2013）。チュウゴクオオサンショウウオの皮膚分泌物の水凝膠は、新しい接着材料として伝統的な創傷閉鎖方法の臨床代替技術となり得る（湯，2020）。科学的加工を経たチュウゴクオオサンショウウオの皮は、高価な箱バッグ革製品としても利用価値が高い（徐ほか，2012）。

製品と営業販売モデル チュウゴクオオサンショウウオは高い利用価値と文化基盤を持ち、食用および高度な加工製品として発展の見込みが大きい。しかし、現在の関連製品は種類が限られており、ブランドも不足している。また、現実には産学連携が十分でなく、研究成果の産業化が少ない（王ほか，2020）。市場で販売されているチュウゴクオオサンショウウオ製品は存在するが、広く認知された「代表製品」は依然として不足している。さらに、ブランド意識の欠如により、チュウゴクオオサンショウウオ製品の品質と価格はまちまちであり、チュウゴクオオサンショウウオの栄養食品に含まれる機能成分とその栄養メカニズムについては科学的な説明が不足している。

現在、チュウゴクオオサンショウウオ製品の販売モデルには主にオフラインとオンラインの二つのモデルがある。オフラインモデルは観光市場と地元消費市場が中心であり、観光市場ではガイドがグループを連れて店に入る消費が主要な販売モデルであり、地元の消費は主にレストランが中心である。オンライン販売モデルは多様化しており、公式サイト販売、地元のアプリ、WeChat ミニプログラムなどが主流であり、大手電子商取引プラットフォーム「天猫」フラッグシップストアなども利用されている。一部の会社は上場している（王ほか，2020）。

VII. 総括と展望

中国のチュウゴクオオサンショウウオは、中国特有の希少な動物遺伝資源として、重要な科学研究および生態的価値を持ち、多種多様な開発および利用価値も有している。中国の研究者たちは、過去数十年の研究を通じて、チュウゴクオオサンショウウオ遺伝資源の保護と利用に関して多くの重要な研究成果を積み上げてきた。本文では、チュウゴクオオサンショウウオの基本的な生物学および生息地の特徴、遺伝的多様性、遺伝資源の保護、人工繁殖および病気、栄養および活性成分と産業利用などの側面について総合的に概説している。野生のチュウゴクオオサンショウウオ集団については、高い保護レベルにあるにもかかわらず、現

在その野外集団の現状は依然として楽観視できない。損傷した野生集団の回復は遅く、各地の自然保護区の保護効率と効果も評価が必要である。人工繁殖技術の推進により、全国規模で大量のチュウゴクオオサンショウウオ人工増殖放流活動が展開され、絶滅の危機に瀕した野生集団の回復が期待されている。しかし、最新の遺伝的多様性研究は、無秩序な放流が一定の遺伝的リスクをもたらす可能性があることを示しており、この点に関してさらなる研究と管理が必要である。また、放流後の集団の生存状況についても、より規範的な調査と評価が求められている。人工養殖集団については、中国のチュウゴクオオサンショウウオ人工飼育繁殖技術はすでに成熟しており、模擬生態的または完全人工飼育方式によりチュウゴクオオサンショウウオ種苗の取得が十分に保障されている。しかし、種苗の育成および養殖段階では、イリドウイルスなどのウイルス性疾患や細菌性疾患などさまざまな疾病の侵襲が避けられない。抗病メカニズムの研究はまだ少なく、養殖者の治療方法も他の水産動物の防治経験に依存しているのが現状である。チュウゴクオオサンショウウオは中国の伝統的な食材であり、薬食同源の特徴を持ち、古文書にも多くの記載がある。その栄養成分の分析結果は、チュウゴクオオサンショウウオが高タンパク低脂肪の高級水産物に属し、その生理活性成分および効果も徐々に明らかにされていることを示している。しかし、現在の市場の供給と需要の関係、産業発展および研究投資の状況下では、販売価格が持続的に低下しており、養殖規模も依然として小さい。現在開発された製品は多様であるが、競争力のある主力製品は依然として不足しており、その優れた遺伝資源としての特質に見合っていない。今後、その開発利用の広さと深さをさらに強化する必要がある。

【脚注】

- 1) 隠蔽種 (cryptic species) とは、形態上の区別は難しいが、遺伝子レベルでは明確な分化が見られる異なる種を指す。
- 2) 遺伝子レベルの多様性 (genetic diversity) とは、ある生物集団や種内に存在する遺伝的な違いや多様さを指す。具体的には、DNA 配列や遺伝子型の異なりなどが含まれる。この多様性は、集団が環境の変化や病気に対して適応する力や、生物の進化の基盤となる重要な要素とされている。

【文献】

艾為明・敖鑫如 (2005)：大鯢の生物学特性及人工模擬生態繁殖。水利漁業, 25, 46-47.

艾為明・陳少波・曾國權・陳志儉・敖鑫如 (2008)：人工模擬

生態養殖子二代大鯢肌肉栄養成分分析。水生生態学雑誌, 1, 120-123.

安苗・張龍・姚俊傑・姜海波・牟洪明 (2009)：大鯢水黴病病原的形態学觀察。貴州農業科学, 37, 146-148.

鮑九枝・余可鋒 (2014)：響應面優化大鯢肉活性肽製備及運動飲料開發。食品工業, 35, 175-178.

蔡佳佳・劉振珂・李吉華・李自發・徐凱勇・徐凌川 (2015)：大鯢肉对 D- 半乳糖誘發小鼠衰老相關指標的影響。西部中医药, 28, 4-7.

陳麗萍・蔡劍雄・王劍 (2015)：大鯢黏液低聚糖肽抑菌、抗血小板聚集活性研究。亚太傳統医药, 11, 11-13.

鄧捷・王啓軍・趙虎・姜維・張坤陽・張紅星 (2016)：水温对大鯢野外放流的影響初探。基因组学与応用生物学, 35, 1377-1382.

方耀林・張燕・肖漢兵・陽焱清 (2008)：野生大鯢及其人工繁殖後代的遗传多样性分析。水生生物学報, 32, 783-786.

費梁・葉昌媛・江建平 (2010)：『中国两棲動物彩色図鑑』四川科学技术出版社, 成都.

付静・陳德経・曹米娜 (2012)：大鯢多肽製備工藝的研究。食品科技, 37, 66-68, 72.

耿敬章・李新生・党娅 (2013)：中国大鯢营养成分和功能因子研究進展。氨基酸和生物資源, 35, 9-12.

耿毅・汪開毓・李成偉・王均・廖雨婷・黃錦炉・周趙英 (2010)：蛙病毒感染致養殖大鯢大規模死亡的電鏡觀察及 PCR 檢測。中国獸医科学, 40, 817-821.

郭軍 (2011) 山西省野生大鯢資源現狀及棲息地生境特徵研究。山西大学.

顧賽麒・李莉・王錫昌・梁煒滄 (2014)：人工養殖大鯢皮膠原蛋白的性質研究。食品科学, 35, 74-79.

何承德・劉世修・馬小琴 (1992)：寄生在中国大鯢的卷尾属線虫三新種 (錐尾目：異尾科)。四川動物, 11, 1-5.

胡代花 (2017)：大鯢生物活性肽和酶解產物研究及応用進展。黑龍江畜牧獸医, 3, 75-79.

黃立群・儀慧蘭・崔松林・郭軍 (2012)：歷山中国大鯢線粒体片段序列的測定及其遗传差異研究。大連海洋大学学報, 27, 513-517.

黃世英・郭文韬・楊誌偉・敖明章・王建文・余竜江 (2009)：人工養殖大鯢肉营养成分分析。時珍国医国藥, 20, I - II.

金橋・魏芳・佟長青・李偉・孔亮 (2011)：大鯢糖肽組分的高效液相色譜分析及其抗氧化活性研究。北京農学院学報, 26, 27-29.

蘭洪明・李燦・黃曉欣・張艷 (2010)：中国大鯢産業化開發現狀与潛力。大科技, 2010 (2), 321.

李培青・朱必才・侯進慧・陳艷秋 (2008)：中国大鯢核型特徵研究。四川動物, 27, 344-346.

- 李媛・姚俊傑 (2007)：大鯢資源的保護。科技諮詢導報, 2007 (30), 110.
- 李敏・張龍・姚俊傑・楊明鏡・李川 (2008)：大鯢水黴病的特徵及產生原因探究。現代農業科學, 15, 99-100.
- 李川・何登菊・牟洪民・馬姍・姚俊傑 (2010)：大鯢水黴病中草藥治療試驗。河北漁業, 33, 57.
- 李銀花・程王琨 (2017)：大鯢飼養中常見疾病的防治及病因探討。農業與技術, 37, 104-105.
- 李林強・咎林森・田萬強・李志成・孟嫻 (2010)：大鯢脂肪組織分布及其理化特性。西北農業學報, 19, 7-10.
- 李林強・咎林森 (2010)：中國大鯢肌內脂肪酸組成及其抗氧化研究。食品工業科技, 31, 364-366.
- 李偉・於新瑩・佟長青・金橋・孔亮 (2011)：大鯢黏液酶解產物的製備及其抗疲勞作用研究。食品工業科技, 32, 146-148, 151.
- 李靜・葉欣・冉旭 (2015)：高溫高壓提高大鯢皮膠原蛋白肽提取率的研究。食品工業, 36, 1-5.
- 李林格・曲敏 (2014)：大鯢皮膠原蛋白肽的結構特性及其對乙醇誘導肝損傷小鼠的保護作用。食品工業科技, 35, 340-343.
- 梁誌強・張書環・王崇瑞・危起偉・伍遠安 (2013)：大鯢資源現狀與保護建議。淡水漁業, 43, 13-17.
- 梁剛 (2007)：陝西省大鯢的繁育模式及初步評價。經濟動物學報, 11, 234-237.
- 林作昆・曾德勝 (2019)：大鯢生物學特性及人工繁殖技術。現代農業科技, 2019 (23), 209, 211.
- 林衍峰・甘成叙・王永傑 (2017)：率水河大鯢放流效果及影響因素分析。水生生態學雜誌, 38, 88-96.
- 劉詩峰・楊興中・田英孝 (1991)：漢江支流渭水河流域大鯢數量統計方法的探討及其資源。動物學雜誌, 26, 35-40.
- 劉萍・趙春霖・熊姍・王傑・趙天・李成・謝鋒 (2021)：中國大鯢古田山放流種群監測及成效評估。應用與環境生物學報, 27, 823-830.
- 劉監毅・肖漢兵・楊焱清 (1999)：中國大鯢養殖繁育技術的探討。經濟動物學報, 3, 38-42.
- 劉紹・劉卉琳・周月華・孫麟・陽愛生・倉道平 (2010)：中國大鯢營養成分的分析。營養學報, 32, 198-200.
- 劉紹・劉卉琳・周治德・彭國平・陳冬純・廖興華・陽愛生・倉道平 (2009)：飼養中國大鯢肝臟與肌肉中幾種重要脂肪酸的測定與分析。食品與機械, 25, 21-22, 26.
- 羅慶華・盧成英・劉清波 (2005)：中國大鯢繁殖生物學研究進展。四川動物, 24, 417-420.
- 羅慶華・劉清波・劉英・羅浩・唐初春 (2007)：野生大鯢繁殖洞穴生態環境的初步研究。動物學雜誌, 42, 114-119.
- 羅慶華 (2009)：張家界大鯢生境特徵。應用生態學報, 20, 1723-1730.
- 羅慶華・童芳・陶水秀・曹威・付磊・朱深海 (2019)：旅遊干擾對張家界大鯢生境及水質的影響。應用生態學報, 30, 2101-2108.
- 羅慶華・張立雲・劉英・陳功建・甘敏 (2009)：桑植縣大鯢資源調查。長江流域資源與環境, 18, 727-731.
- 羅慶華・劉英・張立雲・陳功建・康練常 (2009)：湖南張家界市大鯢資源調查。四川動物, 28, 422-426, 436.
- 羅慶華・劉英・張立雲 (2009)：張家界大鯢人工放流效果及其影響因素分析。生物多樣性, 17, 310-317.
- 羅慶華 (2010)：中國大鯢營養成分研究進展及食品開發探討。食品科學, 31, 390-393.
- 羅慶華・王寒・王苗苗・宋英傑・王建文 (2016)：大鯢油不飽和脂肪酸的富集研究。中國油脂, 41, 34-38.
- 孟彥・楊焱清・張燕・肖漢兵 (2008)：野生和養殖大鯢群體遺傳多樣性的微衛星分析。生物多樣性, 16, 533-538.
- 全國水生野生動物保護分會 (2015)：全國大鯢馴養繁殖和經榮利用調查報告。中國水產, 2015, 23-26.
- 宋鳴濤 (1994)：中國大鯢的食性研究。動物學雜誌, 29, 38-42.
- 栗海軍・喻理飛・馬建章 (2009)：貴州岩下自然保護區的野生大鯢資源現狀及歷史動態。長江流域資源與環境, 18, 652-657.
- 陶峰勇・王小明・章克家 (2004)：大鯢棲息地環境的初步研究。四川動物, 23, 83-87.
- 陶峰勇・王小明・鄭合勳・方盛國 (2005)：中國大鯢四種群的遺傳結構和地理分化。動物學研究, 26, 162-167.
- 陶峰勇・王小明・鄭合勳 (2006)：中國大鯢五地理種群 Cyt b 基因全序列及其遺傳關係分析。水生生物學報, 30, 625-628.
- 佟長青・余睿智・趙菲・金橋・曲敏・李偉 (2017)：大鯢低聚糖肽的研究進展。食品安全質量檢測學報, 8, 2581-2586.
- 湯穎穎 (2020)：來源於大鯢皮膚分泌物之水凝膠促進傷口癒合的初步研究。重慶醫科大學。
- 王永傑・陳紅蓮・王銀東 (2016)：人工繁殖大鯢的關鍵技術。養殖與飼料, 2016, 19-22.
- 吳保學・謝巧雄・姚俊傑・崔巍・周紅霞・李曉林 (2017)：貴州省3個地理種群大鯢的遺傳多樣性及遺傳結構。水產科學, 36, 207-211.
- 王淵 (1996)：安徽省大鯢資源初步調查報告。淡水漁業, 26, 22-24.
- 王永傑・呂文軍・王靜・梁春銀・王雷・劉哲 (2018)：甘肅康縣大鯢自然保護區大鯢資源調查與分析。甘肅農業大學學報, 53, 23-30.
- 王啓軍 (2012)：陝西省太白縣大鯢資源調查及其變動情況分析。西北農林科技大學。
- 吳紀國・趙雪峰 (2016)：正安縣謝壩河大鯢種質資源調查及保護。貴州畜牧獸醫, 40, 66-68.

- 魏夢雅・羅慶華・李捷・朱深海・王金平 (2017): 張家界大鯢
國家級自然保護區功能分區研究. 湖南農業科學, 2017
(7), 59-64.
- 伍遠安・梁誌強・王冬武 (2015): 『大鯢生態養殖』湖南科學
技術出版社, 長沙.
- 王高學・白占濤・張向前・張連麗 (1999): 大鯢赤皮病病原分
離鑑定及防治試驗. 西北農業大學學報, 27, 71-74.
- 王立新・鄭堯・艾閻・王漢勇・楊輝・陳嬋娟・易曉貴・趙柯洋
(2011): 中國大鯢肌肉、尾脂營養成分分析與評價. 西北
農林科技大學學報 (自然科學版), 39, 67-74.
- 王苗苗・羅慶華・王海磊・王朝群・陳功明・向建國 (2015):
張家界大鯢肌肉營養成分分析. 營養學報, 37, 411-413.
- 王茁 (2015): 不同育齡大鯢皮膚黏液中低聚糖肽抗氧化活性研
究. 陝西農業科學, 61, 34-36.
- 王文莉・張偉・於新堂・李偉・佟長青・曲敏・金橋 (2012):
大鯢肉酶解產物的製備及其抗氧化性的研究. 河北漁業,
2012, 1-4.
- 王利鋒・李學英・王大忠 (2011): 大鯢皮膚分泌液中抗菌肽對
銅綠假單胞菌感染小鼠創面的抗菌作用. 華西藥學雜誌,
26, 336-339.
- 王文博・劉品・竇玲玲・王平・寧越・惠瑞敏・李愛華 (2020):
我國大鯢產業發展研究. 中國水產, 11, 57-58.
- 萬軍梅・敖明章・余龍江 (2013): 大鯢不同部位製備物治療燙
傷與凍傷作用研究. 醫藥導報, 32, 603-604.
- 向前光 (2014): 貴州省松桃縣大鯢資源保護與產業發展思路.
北京農業, 2014 (21), 290.
- 肖秀娥・譚德展・曾憲忠・廖偉生・袁沢群・左一 (2014): 湖
南隆回縣野生大鯢資源的現狀及對策. 北京農業, 2014
(30), 189-190.
- 徐景峨・余波・文正常・方開市・黃家良・唐傑 (2010): 大鯢
致病性嗜水氣單胞菌的分離鑑定與藥敏試驗. 畜牧與獸醫,
42, 56-58.
- 徐偉良・陳德經・劉宇・魏泓・劉青 (2015): 大鯢皮膚黏液糖
蛋白的提取純化及抗肺癌活性研究. 中國生化藥物雜誌,
35, 44-47.
- 徐偉良・陳德經・魏泓・劉宇 (2015): 大鯢皮膚黏液的抗氧化
性及安全性評價研究. 陝西理工學院學報 (自然科學版),
31, 56-61.
- 徐陽・孫強・青維・白鑫華・冉旭 (2015): 複合酶法製備大鯢
多肽的研究. 食品工業科技, 36, 180-185, 189.
- 徐達宇・雷明智・周贊・彭海蓉 (2012): 大鯢皮箱包革工藝技
術. 中國皮革, 41, 1-2, 5.
- 楊麗萍・蒙子寧・劉曉春・張勇・黃俊海・黃景・林浩然
(2011): 中國大鯢 5 個野生種群的 AFLP 分析. 中山大學
學報 (自然科學版), 50, 99-104.
- 陽愛生・劉國鈞 (1979): 大鯢人工繁殖的初步研究. 淡水漁業,
1979 (2), 1-5.
- 楊誌偉・郭文稻・黃世英・敖明章・王建文・余龍江 (2009):
人工養殖大鯢肉延緩黑腹果蠅衰老的實驗研究. 時珍國醫國
藥, 20, 1025-1026.
- 趙虎・鄧捷・孔飛・姜維・王啓軍・馬建林・張紅星 (2018):
關於大鯢外鰓脫落期延長的探討. 河北漁業, 2018 (12),
35-36.
- 鄭合勳・王才安・葛蔭榕 (1992): 盧氏縣的大鯢資源: 河南大
學學報 (自然科學版), 22, 51-56.
- 章克家・王小明・吳巍・王正寶・黃松 (2002): 大鯢保護生物
學及其研究進展. 生物多樣性, 10, 291-297.
- 張書環・梁誌強・杜浩・張輝・王崇瑞・危起偉 (2019): 隱鰓
鰓科的生物地理與種群遺傳研究進展. 海洋漁業, 41, 623-
630.
- 鄭合勳・王小明・陳平 (2005). 『盧氏縣大鯢資源變化和致危
因素分析』吉林人民出版社, 長春.
- 張紅星 (2013): 陝西省大鯢資源調查與人工放流效果評價. 淡
水漁業, 43, 29.
- 周小願・張星朗・吉紅・韓亞慧・賈秋紅・高宏偉 (2015): 大
鯢虹彩病毒的形態結構及其包涵體特徵. 淡水漁業, 45,
62-66.
- 張晗・鄧捷・趙虎・孔飛・馬紅英・姜維・張紅星・王啓軍
(2020): 大鯢病毒性疾病最新研究進展. 河北漁業, 2020,
49-52.
- 鐘蕾・肖調義・劉曉燕・陳開健・劉大志 (2009): 大鯢細菌性
敗血症的組織病理學觀察. 湖南師範大學自然科學學報,
32, 84-88.
- 張同富・楊明琅 (1997): 四川大鯢寄生吸蟲一新屬新種 (吸蟲
綱: 複殖目). 動物分類學報, 22, 125-129.
- 張晗・鄧捷・趙虎・馬紅英・王啓軍・車萬寬・張紅星・孔飛
(2021): 大鯢寄生蟲性疾病研究進展. 河北漁業, 2021
(2), 37-38, 46.
- 周艷華・譚璐・李濤・羅慶華 (2019): 酶解大鯢皮膠原蛋白製
備抗氧化肽工藝研究. 中國食品添加劑, 30, 111-117.
- 張神虎 (2001): 大鯢藥用價值及人工養殖. 廣西農業生物科學,
20, 309-310.
- 張耀武・陳萬光・張靜 (2019): 大鯢肉粉麵條的研製. 糧食與
飼料工業, 2019 (8), 23-25.
- Browne, R. K., Li, H., Wang, Z. H., Hime, P. M., McMillan, A.,
Wu, M. Y., Diaz, R., Zhang, H. X., McGinnity, D., Briggler, J.
T. (2014): The giant salamanders (Cryptobranchidae): Part A,
palaeontology, phylogeny, genetics, and morphology.
Amphibian and Reptile Conservation, 5, 17-29.
- Boulenger, E. G. (1924): On a new giant salamander, living in the
society's gardens. *Proceedings of the Zoological Society of
London*, 94, 173-174.

- Chen, S., Cunningham, A. A., Wei, G., Yang, J., Liang, Z. Q., Wang, J., Wu, M. Y., Yan, F., Xiao H. B., Harrison, X. A., Pettorelli, N., Turvey, S. T. (2018): Determining threatened species distributions in the face of limited data: spatial conservation prioritization for the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). *Ecology and Evolution*, 8, 3098-3108.
- Cunningham, A. A., Turvey, S. T., Zhou, F., Meredith, H. M. R., Guan, W., Liu, X. L., Sun, C. M., Wang, Z. Q., Wu, M. Y. (2016): Development of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* farming industry in Shaanxi Province, China: Conservation threats and opportunities [J]. *Oryx*, 50, 265-273.
- Fan, Y. D., Chang, M. X., Ma, J., LaPatra, S. E., Hu, Y. W., Huang, L. L., Nie, P., Zeng, L. B. (2015): Transcriptomic analysis of the host response to an iridovirus infection in Chinese giant salamander, *Andrias davidianus*. *Veterinary Research*, 46, 136.
- Geng, X. F., Guo, J. L., Zhang, L., Sun, J. Y., Zang, X. Y., Qiao, Z. G., Xu, C. S. (2020): Differential proteomic analysis of Chinese giant salamander liver in response to fasting. *Frontiers in Physiology*, 11, 208.
- Geng, X. F., Li, W. S., Shang, H. T., Gou, Q., Zhang F. C., Zang, X. Y., Zeng, B. H., Li, J., Wang, Y., Ma, J., Guo, J. L., Jian, J. B., Chen, B., Qiao, Z. G., Zhou, M. H., Wei, H., Fang, X. D., Xu, C. S. (2017): A reference gene set construction using RNA-seq of multiple tissues of Chinese giant salamander, *Andrias davidianus*. *Gigascience*, 6, 1-7.
- Gao, K. Q., Shubin, N. H. (2003): Earliest known crown-group salamanders. *Nature*, 422, 424-428.
- Geng, Y., Wang, K. Y., Zhou, Z. Y., Li, C. W., Wang, J., He, M., Yin, Z. Q., Lai, W. M. (2011): First report of a ranavirus associated with morbidity and mortality in farmed Chinese giant salamanders (*Andrias davidianus*). *Journal of Comparative Pathology*, 145, 95-102.
- He, D., Zhu, W. M., Zeng, W., Lin, J., Ji, Y., Wang, Y., Zhang, C., Lu, Y., Zhao, D. Q., Su, N., Xing, X. H. (2018): Nutritional and medicinal characteristics of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) for applications in healthcare industry by artificial cultivation: a review. *Food Science and Human Wellness*, 7, 1-10.
- Isaac, N. J. B., Redding, D. W., Meredith, H. M., Safi, K. (2012): Phylogenetically-informed priorities for amphibian conservation. *PLoS One*, 7, e43912.
- Luo, Q. H., Tong, F., Song, Y. J., Wang, H., Du, M. L., Ji, H. B. (2018): Observation of the breeding behavior of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) using a digital monitoring system. *Animals (Basel)*, 8, 161.
- Lin, M., Huang, J., Li, Z., Yang, X. L., Huang, J. H., Zheng, W. D., Huang, Y. P., Xue, H. (2003): RAPD analysis on the wild parents and second filial generation of artificial breeding of *Andrias davidianus*. *Journal of Shanghai Ocean University*, 12, 20-23.
- Liang, Z. Q., Chen, W. T., Wang, D. Q., Zhang, S. H., Wang, C. R., He, S. P., Wu, Y. A., He, P., Xie, J., Li, C. W., Merila, J., Wei, Q. W. (2019): Phylogeographic patterns and conservation implications of the endangered Chinese giant salamander. *Ecology and Evolution*, 9, 3879-3890.
- Li, F. G., Wang, L. X., Lan, Q. J., Yang, H., Li, Y., Liu, X. L., Yang, Z. X. (2015): RNA-Seq analysis and gene discovery of *Andrias davidianus* using illumina short read sequencing. *PLoS One*, 10, e0123730.
- Liang, G., Geng, B. R., Zhao, E. M.. *Andrias davidianus*. The IUCN red list of threatened species 2004. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T1272A3375181.en>
- Lu, C. Q., Chai, J., Murphy, R. W., Che, J. (2020): Giant salamanders: farmed yet endangered. *Science*, 367, 989.
- Murphy, R. W., Fu, J. Z., Upton, D. E., Lema, T. D., Zhao, E. M. (2000): Genetic variability among endangered Chinese giant salamanders, *Andrias davidianus*. *Molecular Ecology*, 9, 1539-1547.
- Meng, Y., Zhang, Y., Liang, H. W., Xiao, H. B., Xie, C. X. (2012): Genetic diversity of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) based on the novel microsatellite markers. *Russian Journal of Genetics*, 48, 1227-1231.
- Pierson, T. W., Yan, F., Wang, Y. Y., Papenfuss, T. (2014): A survey for the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*; Blanchard, 1871) in the Qinghai Province. *Amphibian & Reptile Conservation*, 8, 1-6.
- Pan, Y., Wei, G., Cunningham, A. A., Li, S. Z., Chen, S., Milner-Gulland, E. J., Turvey, S. T. (2016): Using local ecological knowledge to assess the status of the critically endangered Chinese giant salamander *Andrias davidianus* in Guizhou Province, China. *Oryx*, 50, 257-264.
- Pei, J. J., Jiang, L. (2017): Antimicrobial peptide from mucus of *Andrias davidianus*: screening and purification by magnetic cell membrane separation technique. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 50, 41-46.
- Qi, Z. T., Zhang, Q. H., Wang, Z. S., Ma, T. Y., Zhou, J., Holland, J. W., Gao, Q. (2016): Transcriptome analysis of the endangered Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*): immune modulation in response to *Aeromonas hydrophila* infection. *Veterinary Immunology and Immunopathology*,

- 169, 85-95.
- Qu, M., Kong, L., Wang, W. L., Li, W., Yu, X. Y., Tong, C. Q., Jin, Q., Feng, X. Q. (2011): Preparation and characterization of skin secretion hydrolysates from giant salamander (*Andrias davidianus*). *China: IEEE*, 931-933.
- Shu, G. C., Liu, P., Zhao, T., Li, C., Hou, Y. M., Zhao, C. L., Wang, J., Shu, X. X., Chang, J., Jiang, J. P., Xie, F. (2021): Disordered translocation is hastening local extinction of the Chinese giant salamander. *Asian Herpetological Research*, 12, 271-279.
- Turvey, S. T., Marr, M. M., Barnes, I., Brace, S., Tapley, B., Murphy, R. W., Zhao, E., Cunningham, A. A. (2019): Historical museum collections clarify the evolutionary history of cryptic species radiation in the world's largest amphibians. *Ecology and Evolution*, 9, 10070-10084.
- Turvey, S. T., Chen, S., Tapley, B., Wei, G., Xie, F., Yan, F., Yang, J., Liang, Z. Q., Tian, H. F., Wu, M. Y., Okada, S., Wang, J., Lu, J. C., Zhou, F., Papworth, S. K., Redbond, J., Brown, T., Che, J., Cunningham, A. A. (2018): Imminent extinction in the wild of the world's largest amphibian. *Current Biology*, 28, R592-R594.
- Wang, X. M., Zhang, K. J., Wang, Z. H., Ding, Y. Z., Wu, W., Huang, S. (2004): The decline of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* and implications for its conservation [J]. *Oryx*, 38, 197-202.
- Wang, J., Zhang, J., Li, X. L., Jiang, J. P. (2014): Isolation and characterization of 16 microsatellite loci for the giant salamander *Andrias davidianus*. *Conservation Genetics Resources*, 6, 367-368.
- Wang, J., Zhang, H., Xie, F., Wei, G., Jiang, J. (2017): Genetic bottlenecks of the wild Chinese giant salamander in karst caves. *Asian Herpetological Research*, 8, 174-183.
- Wu, Z. B., Gatesoupe, F. J., Zhang, Q. Q., Wang, X. H., Feng, Y. Q., Wang, S. Y., Feng, D. Y., Li, A. H. (2019): High-throughput sequencing reveals the gut and lung prokaryotic community profiles of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). *Molecular Biology Reports*, 46, 5143-5154.
- Xu, J. C., Peng, L. F., Chen, Y. R., Yang, D. C., Wu, Q. N., Weng, S. Y., Zhang, Y., Huang, S. (2018): Four complete mitochondrial genomes of living wild-type Chinese giant salamander *Andrias davidianus* (Amphibia: Cryptobranchidae). *Mitochondrial DNA Part B*, 3, 1200-1202.
- Yan, F., Lü, J. C., Zhang, B. L., Yuan, Z. Y., Zhao, H. P., Huang, S., Wei, G., Mi, X., Zou, D. H., Xu, W., Chen, S., Wang, J., Xie, F., Wu, M. Y., Xiao, H. B., Liang, Z. Q., Jin, J. Q., Wu, S. F., Xu, C. S., Tapley, B., Turvey, S. T., Papenfuss, T. J., Cunningham, A. A., Murphy, R. W., Zhang, Y. P., Che, J. (2018): The Chinese giant salamander exemplifies the hidden extinction of cryptic species. *Current Biology*, 28, R590-R592.
- Zhang, L., Wang, Q. J., Willard, S. T., Jiang, W., Zhang, H. X., Zhao, H., Kouba, A. J. (2017): Environmental characteristics associated with settlement of reintroduced Chinese giant salamanders. *Journal of Herpetology*, 51, 417-424.
- Zheng, H. X., Wang, X. M. (2010): Telemetric data reveals ecologically adaptive behavior of captive raised Chinese giant salamanders when reintroduced into their native habitat. *Asian Herpetological Research*, 1, 31-35.
- Zhang, Z. X., Mammola, S., Liang, Z. Q., Capinha, C., Wei, Q. W., Wu, Y. A., Zhou, J., Wang, C. R. (2020): Future climate change will severely reduce habitat suitability of the critically endangered Chinese giant salamander. *Freshwater Biology*, 65, 971-980.
- Zhu, B. C., Feng, Z. J., Qu, A., Gao, H., Zhang, Y., Sun, D. X., Song, W. C., Saura, A. (2002): The karyotype of the caudate amphibian *Andrias davidianus*. *Hereditas*, 136, 85-88.
- Zhang, P., Chen, Y. Q., Liu, Y. F., Zhou, H., Qu, L. H. (2003): The complete mitochondrial genome of the Chinese giant salamander, *Andrias davidianus* (Amphibia: Caudata). *Gene*, 311, 93-98.
- Zhang, M. J., Gaughan, S., Chang, Q., Chen, H., Lu, G. Q., Wang, X. G., Xu, L. L., Zhu, L. F., Jiang, J. P. (2018): Age-related changes in the gut microbiota of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). *Microbiologyopen*, 8, e778.
- Zhu, L. F., Zhu, W., Zhao, T., Chen, H., Zhao, C. L., Xu, L. L., Chang, Q., Jiang, J. P. (2021): Environmental temperatures affect the gastrointestinal microbes of the Chinese giant salamander. *Frontiers in Microbiology*, 12, 543767.
- Zhao, T., Zhang, W. Y., Zhou, J., Zhao, C. L., Liu, X. K., Liu, Z. D., Shu, G. C., Wang, S. S., Li, C., Xie, F., Chen, Y. H., Jiang, J. P. (2020): Niche divergence of evolutionarily significant units with implications for repopulation programs of the world's largest amphibians. *Science of the Total Environment*, 738, 140269.

(2024 年 8 月 31 日受付)

(2024 年 12 月 24 日受理)

編集委員会からのコメント

当館の研究報告では、通常翻訳は掲載しない方針である。本翻訳については、従来アクセスが難しい中国国内にて中国語で出版された論文の内容が多数掲載されている点を鑑みて、編集委員会にて検討の上、特別に掲載することとなった。

本翻訳のなかに見られるオオサンショウウオ類の食用を当館が推奨しているわけではないことをここに明示する。