

자주복 난 발생 및 자치어의 형태발달

한 경 남

인하대학교 해양학과

Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the Puffer, *Takifugu rubripes* reared in the Laboratory

Kyung-Nam Han

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

The early development, growth, and morphological changes of Tiger puffer *Takifugu rubripes* are described on the basis of a series of reared specimens. Detailed on the early developmental stages are illustrated with special reference to morphological transformation.

Egg and sperm of puffer fish *Takifugu rubripes* were obtained from mature adults under natural conditions, fertilized artificially and incubated in the laboratory. The incubation period of fertilized eggs was 160 to 180 hours at a temperature of 15.1~18.0°C. Larvae were fed successively with rotifer, *Artemia* nauplii and artificial food for 90 days.

The mean total length of newly-hatched larvae was about 2.8mm. Mouth opening occurred on the 1-day yolk-sac larvae and initial feeding was observed on the 4-5 days after hatching. The morphological transitions from the larvae to juvenile and juvenile to young stages occurred when fish reached about 10mm in total length (about 30 days after hatching) and about 32mm in total length (about 60 days after hatching), respectively.

The coefficient of variation in total length distribution increased with growth. Following the appearance of its peak at the size of about 18mm in total length, the coefficient value declined.

Many changes in proportion of the body parts to total length were observed at about 9~10mm and 30~33mm in total length, corresponding to the transformations from larvae to juvenile and from juvenile to young, respectively. Also one big morphological change was observed at about 18mm in total length that divide the juvenile stage into two sub-stages.

Key words : Tiger puffer, Developmental stages, Relative growth, Morphological transition

서 론

자주복 *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel)은 분류학상 복어 목 Tetraodontiformes 참복과 Tetraodontidae, 자주복 속에 속하는 어류 (Abe, 1949)로, 우리 나라 서남해안, 일본 서부연안 및 동중국해에 걸쳐 넓게 분포하는 어종이다 (松原, 1955). 본 종은 간장과 난소 등에 Tetro-

dotoxin라 하는 강한 독을 가지고 있는 것으로 유명하며, 또한 미식가들 사이에는 헛감으로서도 잘 알려져 있다. 특히, 한국과 일본에서는 상업적으로 주요한 어종의 하나로서, 주로 연승어업, 저인망, 정치망 등에 의해 어획된다. 그러나 최근에 남획에 의한 어획량의 감소가 심각한 문제로 대두되어, 자원관리의 필요성이 지적되고 있다. 이러한 배경으로 우리 나라에서는 70년도 초

부터 양식 대상 종의 하나로서 인공종묘생산(卞·盧, 1970; 盧·卞, 1971)이 남해안과 제주도 일부지역에서 실시해 왔으나, 대량생산단계까지는 미치지 못하는 실정이다.

지금까지 본 종에 대한 양식생물학적 연구는 종묘생산(古川·岡本, 1966; 高見等, 1974; 立石, 1980; 林田·松清, 1983; 安田·北島, 1986), 사육환경(大上·鈴木, 1982; 韓等, 1994, 1995; 한, 1998), 먹이생물과 사료(北島·林田, 1984; 韓等, 1995; 韓·古市, 1995ab; 韓, 1996) 등의 연구 보고가 있으며, 생태학적 연구에 관해서는 난 발생과 자·치어 형태(藤田, 1962; 高井·松井, 1963; 李·金, 1969) 등의 대부분 외부 형태변화의 관찰에 불과하며, 형태의 변화에 따른 발육단계의 구분이나 각 단계에 특징적으로 나타나는 생리, 생태적 변화에 관해서는 연구된 바 없다.

따라서 본 연구는 자주복의 발육에 따른 외부 형태변화와 상대성장에 대하여 재검토하고 발육단계의 구분을 시도하였다. 연구에서 사용한 발육단계의 구분은 內田·道津(1958) 및 渡部·服部(1971)에 따라 자어기, 치어기 및 유어기로 구분하였으며, 일부 자어기와 치어기의 형태변화에 관해서는 Kendall et al.(1984)의 발육구분을 따랐다.

재료 및 방법

채란 및 난 관리

일본 下關 근해의 정치망에 어획된 친어(雌 8.0 kg, 雄 3.5kg)로부터 채란, 채정하여 습도법에 의해 인공수정을 실시하였다. 얻어진 수정 난은 100 ℓ 용 부화조를 사용하여 200~300ml/분의 통기와 6~7회전/일의 유수식 조건하에서 부화될 때까지 난 관리를 하였다. 난 관리시의 수온은 15.1~18.0℃이었다.

사육조건

부화한 자어는 실내에 설치한 1m³ 원형수조에 약 2~3만 마리를 수용하여, 부화 2~3일간은 가

벼운 통기와 지수식 조건하에서 사육하였고, 그 후 서서히 유수식 조건하에서 자치어의 성장에 따라 유량을 증가시켰다. 한편, 자어 이후의 사육은 성장별 적정밀도(韓等, 1994)를 맞추어 사육하였다.

사육 먹이로서는 *Nannochloropsis* sp.로 배양한 S-type Rotifer (*Brachionus rotundiformis*)를 부화 후 3~30일까지, 필수지방산으로 영양강화(Watanabe et al., 1983)한 *Artemia nauplius*를 17~35일까지, 그리고 시판의 자치어용 배합사료를 30일 이후부터 제공하며 사육하였다. 사육기간중의 수온은 18~26.3℃이었다.

표본채집 및 측정

초기성장에 따른 형태변화에 관해서는 부화직 후부터 치어기까지는 매일 30마리, 그 이후는 3~5일 간격으로 20마리의 살아있는 표본을 사용하여 외부 형태의 관찰과 전장을 측정한 후, 표본을 5~10% 포르말린 용액에 고정하여 몸체 각 부위의 부분장과 체중의 측정에 사용하였다. 측정된 각 부분장은 Fig. 1에 나타난 바와 같이, 체장(BL), 체고(BD), 두장(HL), 안경(ED), 상악장(UJL), 전항문장(PAL), 등지느러미 밑-주둥이 앞(PDL) 그리고 체중(BW) 등의 8 형질이며 각 부위가 변화하는 시점의 전장크기를 파악하여 상대성장식을 유추하였다. 지느러미 및 이빨의 발달에 대한 관찰은 Alizarin red로 경골 염색한 투명표본을 사용하였고, 필요에 따라 고정표본과 비교하였다.

결과 및 고찰

난 발생

수정에서 부화에 이르기까지 소요되는 시간 및 이때 관찰된 난 발생 결과를 Table 1에 나타내었다.

난

난은 구형의 침성점착난으로 평균 난경은 1.34 ± 0.05mm이다. 난은 유백색을 띠며, 위난장은 좁

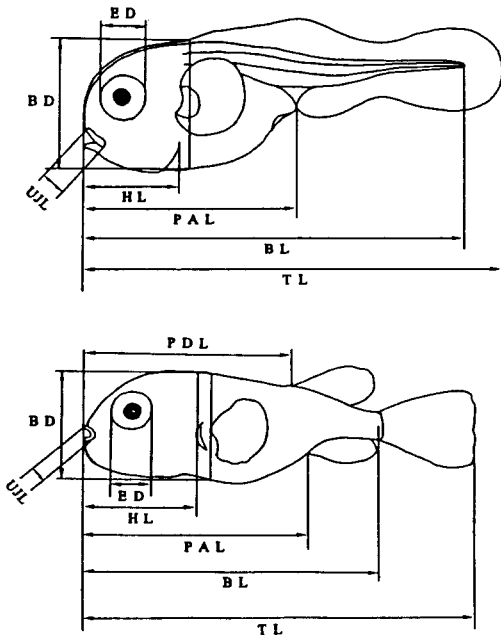


Fig. 1. Body parts of larval(upper) and juvenile (lower)puffer fish measured in this study. TL, total length; BL, body length; BD, body depth at the portion of pectoral fin; PAL, pre-anal fin length; PDL, pre-dorsal fin length; HL, head length; ED, eye diameter; UJL, upper jaw length.

고 다수의 소유구가 난황의 상부에 존재한다. 수정후의 난은 투명하고 점착력은 적으나 발생이 진행됨에 따라 점착력이 강해진다. 그리고 부화가 가까워질수록 다시 약해지는 경향을 보인다. 발생 초기의 수정 난은 반투명이나, 상실기에 들어가면서부터 불투명하게 되어 외부로부터 관찰할 수가 없게 된다.

난 발생 및 부화

수온 15.1~18.0°C 사이에 난 발생과정을 Fig. 2에 나타내었다. 난은 수정 후 1시간 30분에 배반을 형성하며, 3시간 30분에 2 세포기(Fig. 2A), 4시간 20분에 4 세포기(Fig. 2B), 5시간 50분에 8 세포기(Fig. 2C), 6시간 30분에 16 세포기, 7시간 50분에 32 세포기에 도달한다. 9시간 10분 후에는 상실기(Fig. 2D)에 들어가, 난막은 딱딱해 진

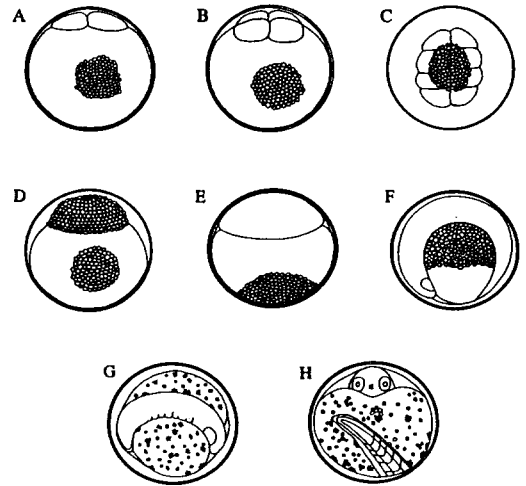


Fig. 2. Embryonic development of the puffer fish at 15.1-18.0°C.

A, 3h 30min; B, 4h 20min; C, 5h 50min; D, 9h 10min; E, 36h 05min; F, 60h 50min; G, 120h 05min; H, 136h 20min.

다. 36시간 05분에 포배기(Fig. 2E)가 되며, 난은 두드러지게 불투명해 진다. 48시간 후에는 배환의 함입이 시작되어 포배기에서 낭배기로 분화된다. 그후, 배반엽은 서서히 난황을 둘러싸 가며, 약 55시간 후에는 난황의 3/4정도를 에워싼다. 60시간 50분에는 배체의 형성(Fig. 2F)이 관찰되며, 그후 배체의 측부나 난황에 흑색소포가 출현하고, 안포가 형성된다. 96시간에는 안구의 원기가 형성되어지며, 120시간 후에는 황색소포가 출현하기 시작하고 근육질 7~12개가 나타난다(Fig. 2G). 136시간 20분에는 심장의 박동이 시작되어, 배체 운동을 관찰할 수 있게 된다(Fig. 2H). 그리고 수정 후 약 161시간에 부화가 시작되어 180시간 30분에 대부분 부화한다.

자치어의 외부형태 변화

사육기간 동안에 관찰된 자치어의 형태 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

부화직후의 자어(Fig. 3A) : 전장은 2.77 ± 0.14 mm이며, 근절수는 $10+13=23$ 이다. 입은 아직 열려 있지 않으며, 부체모양의 가슴지느러미가 출

Table 1. Embryonic development of the puffer fish

Time (hr : min)	WT* (°C)	Figure	Descriptions
			Fertilized egg
1 : 30	15.1		Elevation of blastodisc
3 : 30	17.0	A	2-celled egg
4 : 20	17.0	B	4-celled egg
5 : 50	16.8	C	8-celled egg
6 : 30	16.8		16-celled egg
7 : 50	16.9		32-celled egg
9 : 10	16.5	D	Early morula
23 : 25	16.0		Late morula
36 : 05	16.5	E	Blastula, germ ring appeared
48 : 10	16.8		Gastrula, blastoderm 1/2 of yolk-sac
55 : 15	17.0		Blastoderm 3/4 of yolk-sac
60 : 50	17.2	F	Formation of embryonal body, optic vesicles appeared
84 : 10	18.0		Melanophores appear on the side of embryonal body and yolk-sac
96 : 00	17.5		Formation of eye lenses
120 : 05		G	Xanthophores appeared on Yolk-sac, 10-15 somites
136 : 20	18.0		Heart pulsation began, motility
157 : 30	17.9	H	Active motility, tip of tail reached to head
161 : 05	17.8		Free larva, hatching began
169 : 10	17.7		1/3 hatching
180 : 30	18.0		Hatching completed

*Water temperature.

현한다. 항문은 몸의 중앙보다 약간 후방에 위치한다. 막 지느러미는 머리 위 부분에서 시작되며, 작은 과립이 그 위에 존재한다. 난황은 타원형이며, 작은 유구가 조밀하게 분포한다. 입, 난황 그리고 항문 바로 위쪽의 배 부분에 나뭇가지 모양의 흑색소포가 존재하며, 눈은 진한 청록색을 띤다.

부화 후 1일의 전기자어(Fig. 3B) : 전장은 2.91 ± 0.11mm이다. 대부분의 개체는 입이 열려 있으나, 항문은 열려 있지 않다. 크가 형성되는 부위가 나타나고 색소포의 배열은 부화직후의 상태와 큰 차이를 보이지 않는다.

부화 후 5~6일의 후기자어(Fig. 3C, 3.2~3.4 mmTL) : 난황은 조금 남아 있으나, 대부분의 개

체는 섭이를 시작하여 후기 자어기에 이른다. 가슴지느러미 줄기를 형성하는 부위가 나타나며, 등지느러미, 뒷지느러미 형성 부위도 출현한다. 대형의 나뭇가지 모양의 흑색소포는 머리부분과 가슴지느러미 밑 부분에 출현하나, 몸의 옆면에는 나타나지 않는다. 머리와 몸통 부위의 배쪽 부분에 극린(spine scale)을 형성하는 기반이 출현하고 있다. 유구는 복강의 위쪽 앞부분에 모여 있으며, 부화 후 7~8일경에 소실된다.

부화 후 16일의 후기자어(Fig. 3D, 5.3mmTL) : 위, 아래턱의 앞부분이 Alizarin red에 염색되기 시작한다. 막 지느러미는 등, 뒤, 꼬리지느러미로 분화된다. 흑색소포는 머리와 몸통의 옆면에서

Table 2. Results of measurement in total length during the first 91 days of the rearing experiment of the puffer fish

Age (days)	No. of specimens	Total length (mm)		C.V. ¹	Skewness ²
		Mean	S.D.		
0	20	2.77	0.14	5.1	0.81
2	20	3.03	0.11	3.6	0.98
4	20	3.17	0.15	4.7	0.07
6	20	3.39	0.14	4.1	0.63
8	15	3.73	0.26	7.0	0.70
10	20	4.12	0.28	6.8	0.73
12	13	4.38	0.19	4.3	-0.54
14	20	4.76	0.32	6.7	-0.70
16	16	5.36	0.32	6.0	1.70
19	19	5.87	0.55	9.4	0.45
21	12	6.25	0.62	9.9	2.00
23	15	6.84	0.50	7.3	2.40
25	20	7.83	0.65	8.3	0.96
28	21	8.86	0.87	9.8	1.40
31	25	9.73	0.79	8.1	1.10
33	20	10.7	0.81	7.8	0.17
37	15	12.6	1.0	8.2	0.16
42	13	15.9	2.1	13.0	0.48
46	18	17.9	1.5	8.5	0.32
57	10	22.0	3.0	14.0	-0.12
63	18	27.5	2.5	8.9	-0.14
68	20	33.4	2.9	8.7	-0.21
73	15	39.2	2.1	5.5	-0.30
78	15	43.8	4.1	9.4	-0.49
83	13	50.7	5.1	10.0	-1.20
91	17	58.2	4.1	7.0	0.04

¹Coefficient of variation; S.D.×100/Mean.

² $S_k=1/\sigma^3 \times 1/N \sum f_i(x_i - \bar{x})^3$; σ : variance, x_i : sample of i th, \bar{x} : mean; N : number of samples.

배쪽을 따라 발달하며, 머리 위쪽과 몸통부분의 등쪽에는 산발적으로 분포하고 있다.

부화 후 23일의 후기자어(Fig. 3E, 7.2mmTL) : 가슴지느러미 줄기 수는 정수에 이르나, 흘지느러미인 등, 뒤, 꼬리지느러미는 아직 정수에 이르지 못한다. 척추말단의 상출 각도는 45° 이상이 되며, 꼬리지느러미는 상하양엽이 불대칭 형태로 9개의 줄기가 나타난다. 흑색소포는 머리와 몸통부분의 전체를 둘러싸며, 등지느러미 밑 부분과 뒷지느러미 밑 부분에 대형의 흑색소포가 밀집하게 분포한다.

부화 후 30일의 치어(Fig. 3F, 9.8mmTL) : Fig.

4에 나타난 바와 같이 각 지느러미 줄기 수가 가슴지느러미 18, 등지느러미 17, 뒷지느러미 14, 꼬리지느러미 11로 정수에 도달하여 치어기에 이른다. 등쪽에 극린이 나타난다. 꼬리자루 부분의 옆과 배 부분을 제외한 몸 전체에는 흑색소포가 잘 발달하여 있으나, 유영중의 치어는 옅은 흑색 또는 초록색으로 보인다.

부화 후 37일의 치어(Fig. 3G, 14.5mmTL) : 몸의 앞쪽과 배 부분에 가죽주름이 나타나며, 이때부터 배 부분의 흑색소포는 소실되기 시작한다. 반문의 형성은 아직 나타나지 않으나, 눈 뒤의 등쪽 부분, 몸통 중앙 등면, 등지느러미 아래 주변

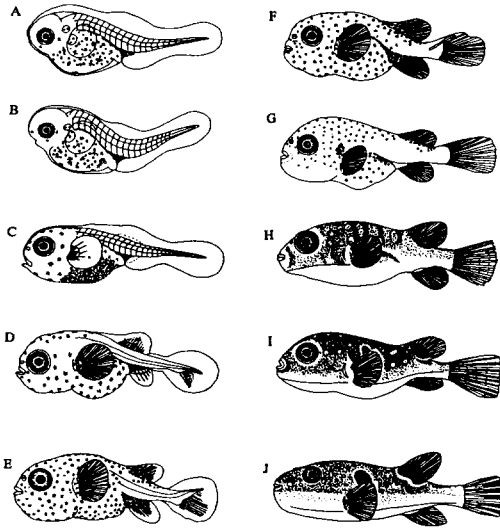


Fig. 3. Development of the larval, juvenile and young puffer fish reared in the laboratory. A, newly hatched larva, 2.77mmTL; B, 1 day old larva, 2.91mmTL; C, 6 days old larva, 3.23mmTL; D, 16 days old larva, 5.30mmTL; E, 23 days old larva, 7.20mmTL; F, 30 days old juvenile, 9.80 mmTL; G, 37 days old juvenile, 14.5mmTL; H, 60 days old young fish, 31mmTL; I, 80 days old young fish, 48mmTL; J, 90 days old young fish, 57mmTL.

에 흑색소포가 밀접하게 분포한다.

부화 후 53~57일의 치어(18~20mmTL) : 배 부분의 가죽주름이 대부분 완성되며, 이것보다 아래방향의 배 부분은 흰색을 띤다.

부화 후 60일의 유어(Fig. 3H, 32mmTL) : 가슴지느러미 밑 뒤쪽에 본 종의 특징인 대형의 흑색 반점이 나타나며, 좌우의 흑색 반점은 등 부분을 따라 흑색 가로 띠로 이어져 있다. 등지느러미 밑 부분 주변에도 흑색 반점이 나타난다. 피부의 극린은 진피층의 지주근에 의해 잘 지탱되고, 비늘상의 작은 가시는 대부분 완성된다.

부화 후 80일의 유어(Fig. 3I, 48mmTL) : 가슴 지느러미 뒤쪽과 등지느러미 밑 부분의 큰 흑색 반점은 주변의 흰색띠에 의해 녹색에 경향을 띠며, 등쪽과 몸 측면에는 다수의 작은 흰색 반점

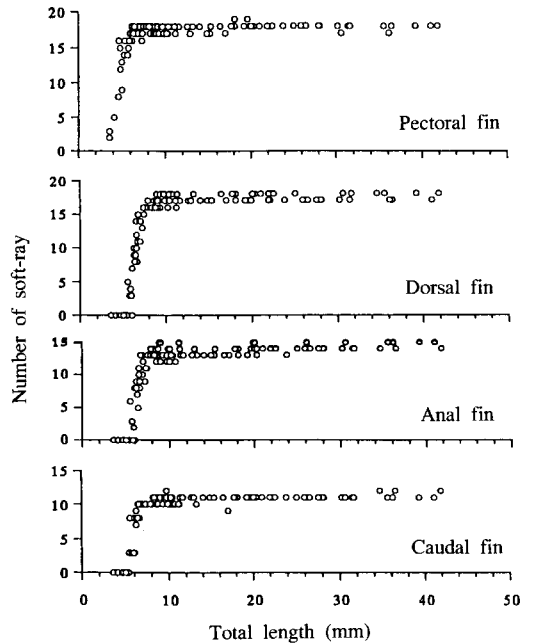


Fig. 4. Ontogenetic changes in number of soft rays of each fin in the larval and juvenile puffer fish.

이 산발적으로 분포한다.

부화 후 90일의 유어(Fig. 3J, 57mmTL) : 이 시기가 되면 반문, 체형 모두 성어에 가깝고 뒷지느러미는 흰색으로 된다.

자치어의 성장과 전장조성의 변화

부화 후 91일까지의 측정 결과를 Table 2에, 전장의 성장곡선 및 일간성장률의 변화를 Fig. 5에 각각 나타내었다.

전장 2.6~2.9mm의 부화직후의 자어는 4~5일 후에 3.2mm 전후로 후기자어기에 들어가며, 부화 후 10일에 3.8~4.8mm, 20일에 6.0~8.0mm로 성장하여 약 30일 후에 10mm 전후로 되어 치어기에 이른다. 또한, 부화 후 40일에 약 15mm, 60일에 25mm로 급격한 성장을 보이나, 그후 70일에 35mm, 90일에 60mm로 성장은 약간 완화된 다. 이와 같이 발육하는 과정에 성장은 S-type 곡선을 가리키며, 일간성장률은 자어기의 4%전후

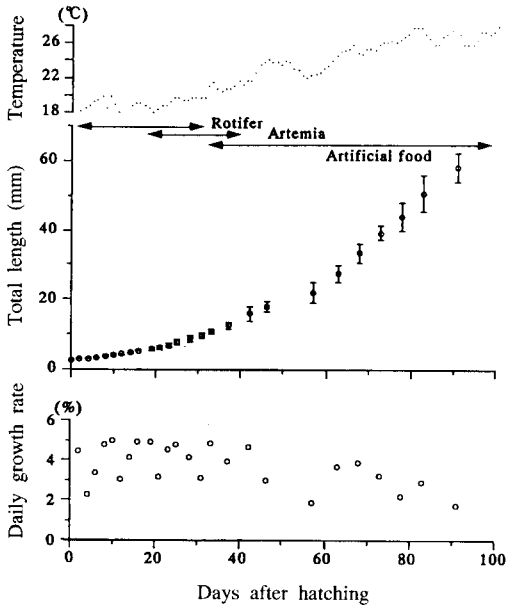


Fig. 5. Changes in water temperature and feeding schedule(upper), mean total length \pm SD(middle) and daily growth rate in total length(lower) during the rearing experiment of the puffer fish.

에서 서서히 감소하여, 부화 후 90일경에는 2% 정도로 된다.

다음으로, 자어기 개체군의 성장에 따른 전장 조성의 변화를 Fig. 6에, 치어기와 유어기의 변화를 Fig. 7에 각각 나타냈다. 전기자어의 전장분포는 정규분포에 가깝고, 변동의 폭도 작으나, 후기 자어에 들어가면, 변동은 서서히 증대하여 분포의 mode는 중앙값보다 큰 쪽에 보이게 된다. 그러나, 부화 후 19일 전후의 6.0mm정도부터 큰 개체의 출현이 두드러지며, 분포의 mode는 작은 쪽으로 이동한다. 이와 같은 분포의 형태는 부화 후 57일, 전장 18.0~20.0mm 정도까지 계속되며, 그후 서서히 왼쪽으로 긴 꼬리를 갖는 분포로 바뀐다.

한편, 변동계수도 Fig. 8에 나타난 바와 같이 성장에 따라, 급격히 증대하여 전장 18mm전후에 최고를 가리 킨 후 급격하게 감소하는 경향을 보이나, 40mm이후는 완만한 감소경향을 보인다.

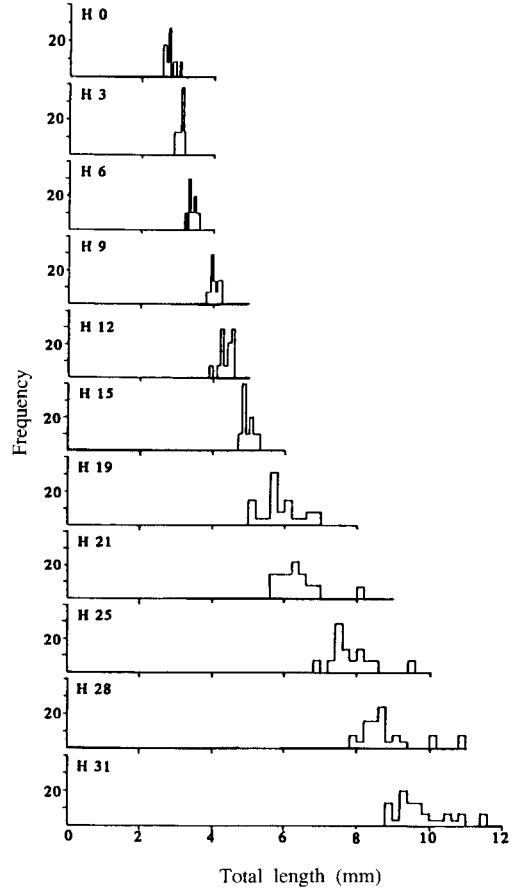


Fig. 6. Changes in frequency distribution of total length in the larval puffer fish. H means the age(days) of larvae.

이와 같이 전장의 분포형과 변동계수는 18mm전후에서 현저하게 변화하는 것이 밝혀졌다.

상대성장

전장에 대한 각 부위의 부분장을 Fig. 9, 10, 11에 각각 나타냈다.

체장(BL/TL)에 있어서는 전장 5.5mm 및 9.5mm 부근에서 굴곡점이 보이며, 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$BL_1 = 0.9554TL^{0.9785} (r=0.994) \quad TL < 5.5mm$$

$$BL_2 = 0.9760TL^{0.9101} (r=0.995) \quad 5.5mm < TL < 9.5mm$$

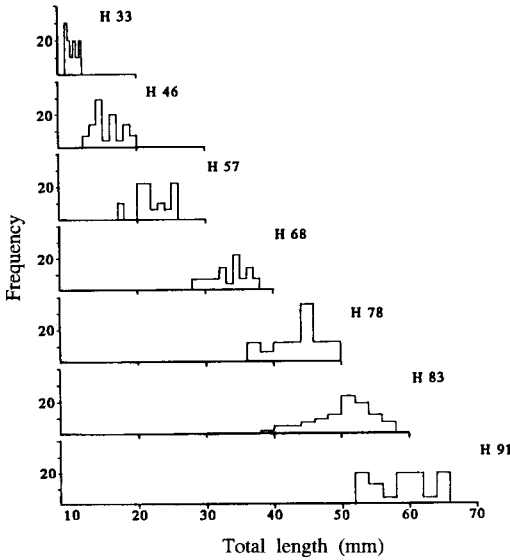


Fig. 7. Changes in frequency distribution of total length in the juvenile and young puffer fish.

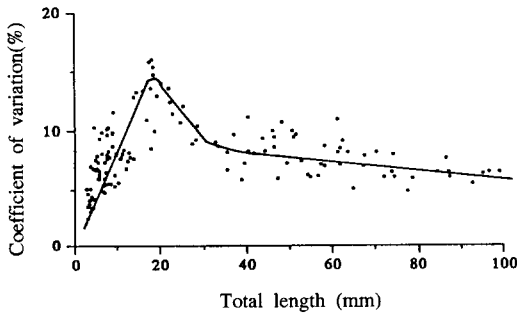


Fig. 8. Changes in coefficient of variation of total length with growth in the larval and juvenile puffer fish.

$$BL_3 = 0.7389TL^{1.0286} (r=0.999) \quad TL > 9.5\text{mm}$$

체장은 부화직후부터 전장 5.5mm정도까지 거의 isometry 을 가리킨다. 그후, 6.5mm부근에서의 척색말단의 상출과 그것에 이어지는 꼬리지느러미의 형성에 따라 negative growth 을 가리키며, 9.5mm이후 다시 isometry으로 바뀐다.

체고(BD/TL)에 있어서는 전장 9.8mm와 32.5mm의 두 곳에서 굴곡점이 인정되어 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

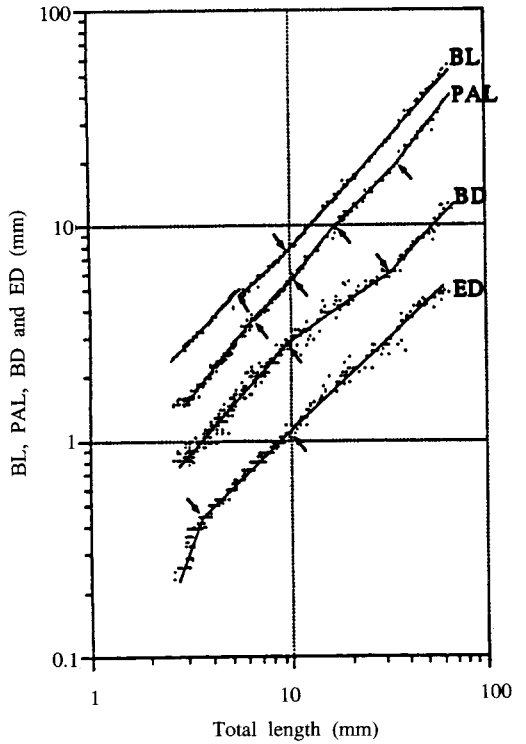


Fig. 9. Relative growth of body length(BL), pre-anal length(PAL), body depth(BD), and eye diameter(ED) against total length(TL) in the puffer fish. Arrows show growth inflexions.

$$BD_1 = 0.2812TL^{1.0240} (r=0.985) \quad TL < 9.8\text{mm}$$

$$BD_2 = 0.6509TL^{0.6548} (r=0.948) \quad 9.8\text{mm} < TL < 32.5\text{mm}$$

$$BD_3 = 0.1804TL^{1.0084} (r=0.961) \quad TL > 32.5\text{mm}$$

체고는 부화직후부터 전장 9.5mm까지의 자어기에는 isometry 을 가리키나, 치어기에 들어가면, 두드러지게 negative growth 을 가리킨 후, 32.5mm이후의 유어기에는 isometry으로 바뀐다.

안경(ED/TL)은 전장 3.3mm와 10.0mm의 부근에서 굴곡점이 인정되어, 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$ED_1 = 0.0400TL^{1.8650} (r=0.658) \quad TL < 3.3\text{mm}$$

$$ED_2 = 0.1243TL^{0.9796} (r=0.991) \quad 3.3\text{mm} < TL < 10.0\text{mm}$$

$$ED_3 = 0.1840TL^{0.8074} (r=0.985) \quad TL > 10.0\text{mm}$$

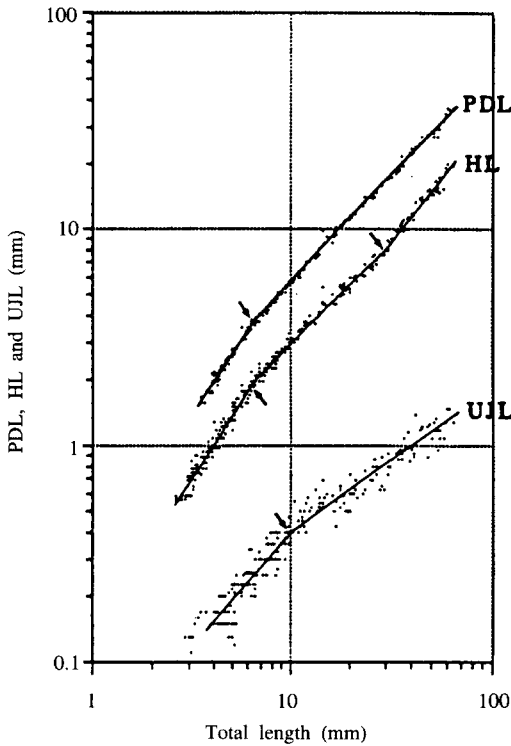


Fig. 10. Relative growth of pre-dorsal fin length (PDL), head length(HL), and upper jaw length (UJL) against total length(TL) in the puffer fish. Arrows show growth inflexions.

안경의 상대성장은 부화직후부터 전장 3.3mm까지의 전기자어에는 positive growth 을 가리키나, 그후, 서서히 negative growth 으로 바뀐다.

전향문장(PAL/TL)은 전장 6.0mm, 11.0mm, 17.5mm 그리고 33.5mm부근의 4곳에서 굴곡점이 인정되어 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PAL_1 &= 0.4754TL^{1.0748} (r=0.990) \quad TL < 6.0mm \\
 PAL_2 &= 0.5935TL^{0.9756} (r=0.992) \quad 6.0mm < TL < 11.0mm \\
 PAL_3 &= 0.5050TL^{1.0510} (r=0.955) \quad 11.0mm < TL < 17.5mm \\
 PAL_4 &= 0.7495TL^{0.9136} (r=0.983) \quad 17.5mm < TL < 33.5mm \\
 PAL_5 &= 0.3975TL^{1.0978} (r=0.988) \quad TL > 33.5mm
 \end{aligned}$$

전향문장의 상대성장은 positive, negative growth 을 반복한다.

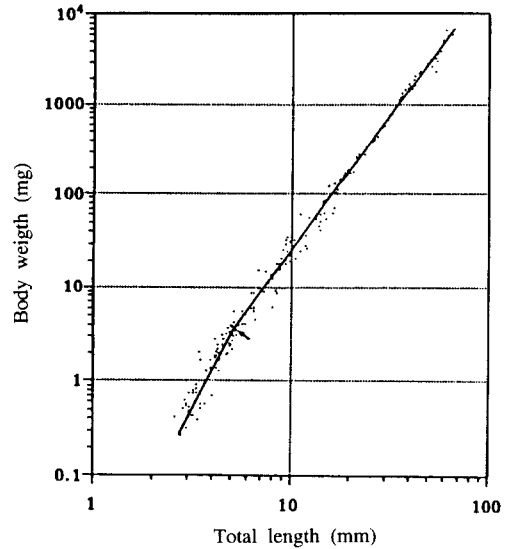


Fig. 11. Relationship between total length and body weight in the puffer fish. Arrows show growth inflexions.

두장(HL/TL)은 전장 6.3mm와 30.0mm의 두 곳에서 굴곡점이 인정되어 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 HL_1 &= 0.1586TL^{1.3373} (r=0.961) \quad TL < 6.3mm \\
 HL_2 &= 0.3624TL^{0.9168} (r=0.983) \quad 6.3mm < TL < 30.0mm \\
 HL_3 &= 0.1494TL^{1.1774} (r=0.976) \quad TL > 30.0mm
 \end{aligned}$$

부화직후부터 전장 6.3mm까지의 자어 단계에는 positive growth 이나, 6.3~30.0mm 사이에서 negative growth으로 바뀐다. 그후, 다시 positive growth 을 가리킨다.

상약장(UJL/TL)은 전장 10.0mm에서 굴곡점이 인정되어, 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 UJL_1 &= 0.0315TL^{1.1183} (r=0.905) \quad TL < 10.0mm \\
 UJL_2 &= 0.0960TL^{0.6308} (r=0.943) \quad TL > 10.0mm
 \end{aligned}$$

상약장의 상대성장은 전장 10.0mm전후를 경계로 positive growth 에서 negative growth 으로 바뀐다.

등지느러미기부에서 주둥이선단(PDL/TL)까지는 전장 6.3mm전후에서 굴곡점이 인정되어 각 굴곡점간의 상대성장식은 다음과 같다.

$$PDL_1 = 0.2905TL^{1.3668} (r=0.977) \quad TL < 6.3mm$$

$$PDL_2 = 0.5770TL^{0.9916} (r=0.998) \quad TL > 6.3mm$$

등지느러미기부에서 주둥이선단까지의 상대성장은 전장 6.3mm까지의 자어에서는 positive growth 이나, 그후 isometry 으로 바뀐다.

전장-체중(TL-BW) 관계는 전장 5mm부근에서 굴곡점이 인정되어, 굴곡점간에 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$BW_1 = 0.0120TL^{3.4657} (r=0.943) \quad TL < 5.0mm$$

$$BW_2 = 0.0263TL^{3.1732} (r=0.988) \quad TL > 5.0mm$$

이상의 몸체 각 부위의 상대성장 및 전장-체중의 관계가 변화하는 시점의 전장을 Fig. 12에 정리하여 나타내었다. 이 결과로부터 외부형태의 중요한 변화는 전장이 5~6mm, 9~10mm, 18mm 그리고 30~33mm부분에 생기는 것이 밝혀졌다. 또한, 이러한 부분장 중, 머리부분에 관한 형질 즉, 두장, 안경, 상악골장 등의 상대성장은 초기에 positive growth을 나타내, 뇌, 신경중추, 섭이 기관 등의 발달이 두드러짐을 알 수 있다. 그러나, 치어로의 이행기에는 이러한 형질의

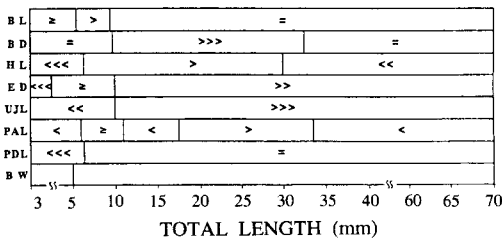


Fig. 12. The relative growth inflective points in several bodily parts against total length of the larval and juvenile puffer fish. \leq, positive growth; $>$, negative growth; $=$, 0.98-1.02 in relative growth coefficient; \geq, 0.95-0.98; $>$, 0.90-0.95; $>>$, 0.80-0.90; $>>>$, less than 0.79; \leq, 1.02-1.05; <math><<<</math>, 1.05-1.10; <math><<<</math>, 1.10-1.20; and <math><<<<</math>, more than 1.21.

대부분은 negative growth으로 바뀌고, 몸통부분의 발달이 우세하여 운동기관의 발달이 두드러지는 것으로 나타났다. 이와 같이 자어기에는 머리부분 및 그것에 부속하는 기관의 부분장 비율이 크고 상대적으로 발달하나, 치어기에 들어가면 몸통부분이 발달 또는 신장하고 소화기 계통의 완성, 운동능력의 향상 등의 현상이 나타나는 것은 많은 어종에 보이는 공통된 현상이다(北島等, 1991; Yoshimatsu et al., 1992, 1993).

따라서, 이러한 상대성장의 변화점과 이 단계에서 관찰되는 몇 가지 생리, 생태적 변화의 특징을 근거로 하여 자어기에서 유어기까지의 초기 발육단계를 다음과 같이 구분하여 정리하였다.

자어기(10mmTL): 이 단계는 전장 약 3.2~3.4mm까지의 난황을 가지고 강한 주광성을 가지는 전기자어기(부화 후 0~4일)와 섭이를 개시 하면서부터 각 지느러미가 완성하는 약 10mm까지의 후기자어기(부화 후 5~30일)로 나눌 수 있다. 후기자어기는 더욱더, 약 6mm 전후에 I 단계와 II단계로 구분할 수 가 있다. I 단계는 척색말단의 상출이 시작되기 전 단계로, 성장에 따른 현저한 형태변화는 인정되지 않는다. 통상 생존율은 80%이상으로 높다. II단계는 척색말단의 상출 완료 이후, 등, 배, 꼬리지느러미를 형성하는 부위가 나타나고 이빨과 극린의 형성 및 근질의 발달이 두드러진다. 이 시기부터 개체간의 공식이 빈번하게 관찰되며, 팽복 습성도 나타난다. 먹이로서는 Rotifer에서 Artemia 등의 동물성플랑크톤을 선택하게 된다. 이 시기는 몸체 여러 기관의 분화, 발달 및 내·외부형태의 변화가 단기간 내에 일어나므로 생활사 중에서 가장 불안정한 시기이다(田中, 1975).

치어기(10~32mmTL): 이 단계도 전장 18mm 전후를 경계로 I 단계와 II단계로 구분할 수 있다. I 단계는 후기자어II단계에서 전술한 일련의 변화가 완료하며, 행동 면에서도 변화가 나타나 치어는 수조 내를 군 유영하게 된다. 섭이 행동도 종래의 입자형태의 먹이를 삼키는 것에서 깨물어 먹는 상태로 바뀐다. 개체간의 성장 차는

현재해 저 변동계수가 최고에 이른다. 또한, 이 시기에는 공식현상에 의한 폐사율이 높아진다. II 단계는 외형적으로 피부의 극린이 대부분 완성된다. 배 부분에는 가죽주름이 완성되고, 외부 형태는 성어 체형에 가깝다.

유어기(32mmTL<) : 이 단계에 들어서면 가슴 지느러미 밑부분, 등지느러미 밑부분에 큰 흑색 반점이 나타나며, 외부형태, 무늬모양 등이 성체와 거의 차이가 없게 된다.

요 약

자주복 *Takifugu rubripes* 자치어의 사육 조건 하에서의 발육에 따른 외부형태의 변화 및 상대 성장에 대해 검토하여 발육단계의 구분을 시도하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 부화자어는 전장 약 2.9mm로, 부화 후 1일에 입이 열리고 부화 후 4-5일에 섭이를 시작하여 후기자어기에, 부화 후 30일경인 전장 약 10mm에 치어기, 부화후 60일경인 전장 약 32mm에 유어기에 이른다.

2) 전장의 변동계수는 성장함에 따라 급격히 증대하여 전장 18mm전후에 최대값을 보인 후, 급격하게 감소하나 전장 40mm이후부터는 완만하게 감소하는 경향을 보였다.

3) 전장에 대한 각 부위의 상대성장에 굴곡점은 전장 5-6mm, 9-10mm, 18mm전후 및 30-33mm 부근에 집중적으로 나타났다.

4) 외부형태의 변화 및 상대성장의 굴곡점이 나타나는 어체 크기 등을 종합적으로 고려하여 자어기에서 유어기까지의 발육단계를 구분하면, 자어기는 전장 10mm이하, 치어기는 10-32mm, 유어기는 32mm이상으로 사료된다. 또한 섭이개시 이후의 후기자어기는 I 기와 II 기로, 치어기도 전장 18mm전후를 경계로 I 기와 II 기로 구분할 수가 있다.

참 고 문 헌

- Abe, T., 1949. Taxonomic studies on the puffers(Tetraodontidae, Teleostei) from Japan and adjacent regions.V, Synopsis of the puffers from Japan and adjacent regions. Bull. Biogeograph. Soc. Jap., 14, 1-15, 89-140.
- Kendall, A. W., E. H. Ahlstrom and H. G. Moser, 1984. Early life history stages of fishes and their characters, in "Ontogeny and Systematics of fishes" (ed. by H. G. Moser et al.), Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ. No. 1, Allen Press, Lawrence, KS, p. 11-22.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, A. Oka, M. Hirata, C. Kitajima and S. Fujita, 1983. Improvement of dietary value of live foods for fish larvae by feeding them on ω 3 highly unsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins. Nippon Suisan Gakkaishi, 49 : 471-479.
- Yoshimatsu, T., S. Matsui and C. Kitajima, 1992. Early development of laboratory-reared redlip mullet, *Liza haematocheila*. Aquaculture, 105 : 379-390.
- Yoshimatsu, T., S. Matsui and C. Kitajima, 1993. Early development of laboratory-reared keelback mullet. Nippon Suisan Gakkaishi, 59 : 765-776.
- 盧遜·卜忠圭, 1971. 자주복 畜養에 關한 基礎的 研究. 國立水產振興院研究報告, 8 : 93-106.
- 卜忠圭·盧遜, 1970. 자주복, *Fugu rubripes*(Temminck et Schlegel)의 種苗生産에 關한 研究. 韓國水產學會誌, 3 : 52-64.
- 李秉暎·金容億, 1969. 韓國産 主要 海産魚類의 種苗生産에 關한 研究, 1. 자주복의 卵發生과 仔魚의 成長에 대하여. 釜水人臨海研報, 2 : 1-10.
- 韓慶男, 1996. 자주복 幼魚의 必須脂肪酸 要求 및 適正含量. 한국양식학회지, 9 : 353-361.
- 한경남, 1998. 자주복 *Takifugu rubripes* 자어의 성장, 생존 및 섭이율에 미치는 기아의 영향. 한국양식학회지, 11 : 521-528.
- 高見東洋·河村勇·岩本哲二, 1974. 트라프구의 種苗生産에 關する 研究と 量産化について. 栽培漁業技術開發報告, 1, 山口縣水產種苗, p. 1-47.
- 高井徹·松井 魁, 1963. 트라프구의 種苗生産에 關する 豫察的 研究. 水產增殖, 臨時號, 2 : 1-7.
- 古川 厚·岡本 豪, 1966. フグ의 養殖.(水產增養殖業書 13), 日本水產資源保護協會, 東京, 76pp.
- 内田惠太郎·道津喜衛, 1958. 對馬暖流域의 表層에 現われる 魚卵, 稚魚 概說. 對馬暖 流開發調查報告書, 2, 3-65.
- 渡部泰輔·服部茂昌, 1971. 魚類의 發育段階의 形態的 區分と それらの 生態的 特長. さかな, 7, 54-59.

- 大上皓久・鈴木雄策, 1982. 트라프그稚魚の歩留まりと共食いにおよぼす飼育條件の影響. 静岡水試事報, 16, 79-85.
- 北島 力・高屋雅生・塚島康生・荒川敏久, 1991. マハタの卵内發生および飼育による仔稚魚の形態變化. 魚類學雜誌, 38: 47-55.
- 北島 力・林田豪介, 1984. 트라프그仔稚魚のワムシおよびアルテミア幼生日間攝餌量. 長崎水試研報, 10, 41-48.
- 藤田矢郎, 1962. 日本産主要フグ類の生活史と養殖に關する研究. 長崎縣水産試験場論文集, 第2集, 121pp.
- 松原喜代松, 1955. 魚類の形態と檢索 I-III. 岩崎書店, 東京, 1605pp.
- 安元進・北島 力, 1986. 트라프그の種苗生産. 昭和60年度長崎水試事報, 333-334.
- 立石 健, 1980. 트라프그の種苗生産および養殖の現況と問題点(上). 養殖 17, 64-71.
- 林田豪介・松清恵一, 1983. 트라프그の種苗生産. 昭和57年度長崎水試事報, 233-235.
- 田中 克, 1975. 消化器官. 日本水産學會編: 稚魚の攝餌と發育. 恒星社厚生閣, 東京, p. 7-23.
- 韓慶男・古市政幸, 1995a. 트라프그用飼料におけるエネルギー源としての炭水化物和脂質. 九大農學藝誌. 50: 19-23.
- 韓慶男・古市政幸, 1995b. 飼料脂質含量がトラフクの成長, 飼料効率および体成分に与える影響. 九大農學藝誌. 50: 25-29.
- 韓慶男・吉松隆夫・北島 力, 1995. 트라프그親魚の必須脂肪酸要求. 九大農學藝誌. 50: 11-17.
- 韓慶男・松井誠一・古市政幸・北島 力, 1994. 트라프그幼稚仔の收容密度が成長, 生殘率および尾鰭缺損率におよぼす影響. 水産増殖. 42: 507-514.
- 韓慶男・莊恒源・松井誠一・古市政幸・北島 力, 1995. 트라프그幼稚仔の成長, 生殘, および飼料効率におよぼす飼育水塩分の影響. 日本誌. 61: 21-26.