

강하루살이와 금빛하루살이 (하루살이목 : 강하루살이과)의 서식처

김종인 · 배연재 · 이성진¹ · 윤일병¹

(서울여자대학교 생물학과, ¹고려대학교 생물학과)

Habitat of *Rhoenanthus coreanus* and *Potamanthus yooni* (Ephemeroptera: Potamanthidae).
Kim, Jong In, Yeon Jae Bae, Sung Jin Lee¹ and Il Byong Yoon¹ (Department of Biology,
Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea; ¹Department of Biology, Korea University,
Seoul 136-701, Korea)

A field study was carried out to elucidate the macrodistribution and microhabitat of two potamanthid mayflies, *Rhoenanthus coreanus* and *Potamanthus yooni*, in the Kapyong creek in the central area of Korea from 1994 to 1997. Macrodistribution was qualitatively studied with respect to such general environmental factors as stream order, elevation, stream width, and riffle-pool sequence (current velocity); microhabitat was quantitatively studied with respect to substrate particle size and heterogeneity. As results, the larvae of both species were sympatrically distributed from mid-stream section to large river (stream order > 6; stream width > 50 m) where the current was slow and the substrate was composed of sand, gravel, and pebbles and embedded by cobbles and boulders. The larvae also occurred from relatively clean waters to moderately polluted waters with organic matters. More larvae of *R. coreanus* and *P. yooni* were found at the substrate particle size (median diameter) ranged $\Phi_i = -3 \sim -7$ and $\Phi_i = -2 \sim -6$, respectively, and at the substrate heterogeneity (quartile deviation) ranged 0.5~1.5 and 0.5~2.5, respectively. This indicated *P. yooni* prefers smaller and more heterogeneous substrates.

Key words : Ephemeroptera, macrodistribution, microhabitat, *Potamanthus yooni*, *Rhoenanthus coreanus*, substrate heterogeneity, substrate particle size

서 론

하루살이상과(Ephemeroidea)에 속하는 하루살이 유충은 하천이나 호수의 바닥을 파고 서식하므로 굴파는 하루살이(burrowing mayfly)로 불린다. 굴파는 하루살이는 대체로 20~30 mm에 이르는 대형이기 때문에 많은 종이 알려져 있으며, 상위분류군의 계통관계도 잘 연구되어 있다(McCafferty, 1991). 굴파는 하루살이의 서식처 적응과 관련된 형태학적 특징과 행동학적 특성은 오랫동안 관심의 대상이 되어 왔다(Bae and McCafferty, 1995). 예를 들면 전형적인 굴파는 하루살이인 하루살이

과(Ephemeridae)와 흰하루살이과(Polymitarcyidae)의 유충은 몸이 원통형이고, 큰턱돌출기 및 앞다리의 형태가 진흙이나 모래를 파기에 적합하게 되어 있어서 때로는 뚜렷한 "U" 자형의 굴을 만들기도 한다(Keltner and McCafferty, 1986).

한편 강하루살이과(Potamanthidae)는 하루살이상과에 속하지만 유충의 몸이 상대적으로 편평하고, 다리의 형태도 전형적인 굴파는 하루살이와는 다르기 때문에 이들의 미소서식처와 굴파는 습성이 다른 굴파는 하루살이와는 다를 것으로 추측되어 왔다. 최근에는 미국산 강하루살이과의 한 종인 *Anthopotamus verticis* (Say)의 미소서식처에 관한 연구에서 *A. verticis*가 특정 종류의

저질입자를 선호하며, 잘 발달된 큰턱돌출기를 이용하여 능동적으로 바닥을 파는 것이 확인되었다(Bae and McCafferty, 1994).

강하루살이과의 서식처에 관한 생태학적 연구로는 상기한 *A. verticis*에 대한 연구 이외에 일반적인 서식처를 기록한 단편적인 보고(Bartholomae and Meier, 1977; Munn and King, 1987; Watanabe, 1988)가 있을 뿐 아직 많은 부분이 알려져 있지 않다. 우리나라에서는 강하루살이과에 속하는 강하루살이(*Rhoenanthus coreanus* Yoon and Bae)와 금빛하루살이(*Potamanthus yooni* Bae and McCafferty)에 대하여 수서곤충이나 저서성 대형무척추동물의 군집을 다룬 생태학적 논문에서 지리적 분포, 일반적 서식환경 및 이화학적 수질환경이 간접적으로 보고되었을 뿐이다(배, 1996 참조).

본 연구에서는 강하루살이과의 종류 중에서 우리나라에 널리 분포하는 강하루살이와 금빛하루살이의 광범위 분포 양상과 미소서식처에 대하여 야외조사를 통하여 알아보고자 한다.

재료 및 방법

한국산 강하루살이과에는 본 연구에 포함된 두 종 이외에 가람하루살이(*Potamanthus luetus oriens* Bae and McCafferty)와 작은강하루살이(*Potamanthus formosus* Eaton)가 알려져 있다(Bae and McCafferty, 1991). 그러나 가람하루살이와 작은강하루살이는 우리나라에 아직 유충 개체군의 분포가 알려져 있지 않아서 우리나라의 하천에 상대적으로 풍부한 강하루살이와 금빛하루살이를 대상으로 하였다. 강하루살이는 우리나라에서 과거의 생태학적 문헌에 흔히 "*Potamanthus nb*"로 기록되었으며, "장수하루살이"로 불리기도 한다. 금빛하루살이는 우리나라에서 "*Potamanthus kamoni* Imanishi"로 흔히 오동정되었으나 실제로 일본산 *P. kamoni*는 *P. formosus*의 이명이다(Bae and McCafferty, 1991; Bae et al., 1994).

1. 야외실험

1) 광범위 분포 조사

강하루살이와 금빛하루살이의 한 하천에서의 광범위 분포양상과 일반적 서식환경을 조사하기 위하여 1994년부터 1997년까지 경기도 가평군에 위치한 가평천에서 야외조사를 실시하였다. 유충의 광범위 분포조사는 하천의 최상류부터 하구까지 하천의 전구간을 연속적으로 관찰하고 채집하여 강하루살이류의 서식여부를 관찰하

였다. 유충의 광범위 분포에 영향을 미칠 것으로 판단되는 하순, 고도, 하폭, 유속, 저질구성 등 일반적 서식환경을 조사하였다. 유충의 채집은 족대(망목 0.2mm)와 뜰채(망목 0.2mm)를 이용하여 정량채집을 실시하였다. 하순과 고도의 측정에는 축적 1:25,000 지도를 이용하였고, 유속의 측정은 Craig(1987)의 방법을 따랐다. 바닥물질의 구성에 대한 관찰은 육안에 의하였다.

2) 미소서식처 조사

강하루살이와 금빛하루살이의 미소서식처 적응양상을 조사하기 위하여 가평천에서 이들 두 종의 유충이 풍부하게 서식하는 가평천 중류의 목동(고도 100 m 지점)과 하류의 가평읍(고도 80 m 지점)에서 riffle-pool sequence를 임의로 선정하여 1994년 5월부터 1995년 8월까지 매월 1회씩(총 16회) 정량채집을 실시하였다. 유충의 정량채집은 Surber sampler (50 cm × 50 cm, 망목 0.2 mm)를 이용하였다. 정량채집은 매 조사당 두 지점에서 4회씩, 도합 8회의 채집을 실시하여 총 표본수는 128회에 달하였다.

미소서식처 적응에 관한 조사에 있어서 우선 유속을 고려하였으며, 유속의 범위는 편의상 0~9.9 cm/s, 10.0~24.9 cm/s, 그리고 25.0 cm/s 이상으로 구분하였다.

그 다음으로 하상구조에 따른 미소서식처 양상을 고려하였으며, 이에는 바닥물질의 입자크기와 이질성을 고려하였다. 바닥물질의 측정을 위하여 정량채집한 지점에서 깊이 약 20 cm의 바닥물질을 들어내어 물 밖으로 옮겨와 크기별 채로 친 다음 무게를 측정하였다. 바닥물질 입자크기는 Wentworth의 분류체계에 따라 median diameter (MD)로 측정하였으며(Wentworth, 1922; Minshall, 1984; Bae and McCafferty, 1994), 바닥물질의 이질성은 quartile deviation (QD)으로 측정하였다(Lamberti and Resh, 1979; Minshall, 1984; Bae and McCafferty, 1994).

정량자료의 분석에 있어서 자연생태계에서의 임의 표본조사후 단일 환경요인만을 고려 대상으로 하였으므로 통계적 분석 없이 조사값에 대한 단순비교만을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 광범위 분포

1970년대 이래 우리나라 전국의 하천에서 조사된 생태 자료에 의하면 강하루살이와 금빛하루살이는 남한강 및 북한강 수계 뿐만 아니라 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강,

동해안 및 서해안 수계 등 남한의 전국적 수계에 걸쳐 출현하는 것으로 나타났다(배, 1996. 참조). 또한 강하루살이의 경우 북한의 대동강과 극동러시아의 우수리강 유역에서도 출현하는 것으로 알려졌다(Bae and McCafferty, 1991; Bae and Andrikovics, 1997). 금빛하루살이는 아직까지 남한에서만 알려져 있다. 과거의 조사에서 이들 두 종이 한강유역에 집중적으로 분포하는 것으로 나타난 것은 그 지역에서 상대적으로 많은 조사가 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

본 조사기간동안 가평천에서 조사된 자료를 분석한 결과 강하루살이와 금빛하루살이 모두 고도 100 m 이하의 하천 중, 하류 구역에서만 출현하였다. 이는 하순 6~7이고, 하천폭 80~120 m 정도의 평지형 하천에 해당된다. 그러나 강하루살이와 금빛하루살이는 한강 본류의 팔당으로부터 서울의 잠실대교에 이르기까지 채집되므로(김 등, 1980; 윤과 변, 1981) 이들은 하천지류의 중, 하류에서부터 흐름이 완만한 하천하류와 큰강의 본류까지 널리 분포하는 것으로 사료된다.

가평천에서의 야외조사 및 문헌조사(윤 등, 1990)에 나타난 두 종의 일반적 서식처를 기술하면 강하루살이는 대체로 하천폭 50 m 이상의 하천 중류부터 큰강의 본류까지 수온이 비교적 높고(여름 최고온도 30°C), 수심이 20~50 cm(평균수심 30 cm)이며, 유속이 완만하거나 물 흐름이 거의 정체된 지역에서 발견된다. 하천바닥은 유기물과 부착조류가 다소 덮여 있으며, 모래와 자갈이 섞인 바닥에 주먹돌과 호박돌이 묻혀있는 곳에서 흔히 돌 밑에 붙어 있는 것이 관찰된다. 수질은 비교적 맑은 하천에서부터 유기물 오염이 다소 진행된 지역까지 나타나는데, pH의 경우 6.3~6.9, DO는 8.5~10.1 ppm, BOD는 1.5~2.8 ppm, 그리고 탁도는 2.2~5.0 NTU의 범위에서 분포하였다.

금빛하루살이는 강하루살이에 비하여 유충의 개체군이 다소 적게 출현하였지만 강하루살이와 거의 흡사한 광범위 분포양상을 나타냈고, 일반적인 서식처도 강하루살이의 서식처와 거의 동일하였다. 이들 두 종은 흔히 동일 하천구간의 같은 서식처에서 발견되는 동소적 종이며, 몸의 일반적 형태와 습성 등이 유사한 것으로 미루어 볼 때 이들의 생태적 지위가 유사할 것으로 짐작된다.

1980년대 초반이래 가평천에서의 장기적 관찰과 경험에 의하면 이들 두 종은 한 하천 구간에서 수년을 주기로 번갈아 개체군이 우세하게 나타나는데, 어떤 환경요인에 의한 것인지는 검증이 필요하다. 한편 1970년대 이래 도시화가 급격히 진행된 서울 근교의 왕숙천에서는

1980년대 초반까지 중, 하류구간에 두 종이 분포하였으나 그 이후 자취를 감추었고(윤 등, 1993), 1997년에 일부 구간에 금빛하루살이의 개체군이 회복된 것을 확인하였다. 이는 이들 두 종이 수질오염에 대한 내성이 비교적 강하지만, 급격한 환경변화와 오염에는 서식할 수 없음을 나타내 준다.

2. 미소서식처

가평천에서 조사된 정량자료를 분석하였을 때 강하루살이와 금빛하루살이의 미소서식처를 유속에 대한 적응과 하상구조에 대한 적응으로 크게 나누어 볼 수 있다.

먼저 전체 조사된 128회의 정량채집 지점의 유속의 범위를 0~9.9 cm/s, 10.0~24.9 cm/s 및 25.0~145.0 cm/s로 구분하였을 때 이들 범위의 지점이 각각 35회, 34회 및 59회로서 비교적 고른 빈도를 나타냈다. 이들 유속범위에서는 두 종 모두 비교적 고른 출현빈도와 개체수 및 평균개체수를 나타냈고, 평균개체수에 대한 표준편차의 변이가 매우 크므로(Table 1) 유속만의 단일 환경요인으로는 이들 종의 미소서식처 분포를 설명하기는 어렵고, 다른 환경요인이 복합적으로 관계하고 있음을 암시하여 준다. 그러나 1997년도에 실시한 예비조사(미발표자료)에서 바닥물질의 구성이 상대적으로 유사할 경우(평균입자크기 MD Phi=-6) 상대적으로 느린(0~9.9 cm/s) 유속에서 두 종 모두 더욱 많은 개체가 출현하는 것을 확인하였다.

바닥물질의 입자크기를 고려하였을 때 정량채집된 지점의 입자크기는 직경 16~128 mm에 해당하는 MD Phi=-4~-6의 입자가 대부분이었고, 정량채집당 출현 개체수 및 평균개체수도 강하루살이가 MD Phi=-3~-7사이에서 주로 출현한 반면 금빛하루살이는 MD Phi=-2~-6의 범위에서 주로 출현하여 금빛하루살이가 다소 작은 크기의 입자에 대한 선호성을 나타냈다(Table 2). 또한 바닥물질의 이질성을 볼 때에도 강하루살이는 QD=0.5~1.5의 범위에서 출현하였으나 금빛하루살이는 QD=0.5~2.5의 범위에서 출현하였다(Table 3).

금빛하루살이가 장수하루살이에 비하여 다소 작은 크기의 입자와 높은 이질성에서 출현하는 것은 유충의 몸 크기와 관련된 것으로 보이며, 실제로 미국산 강하루살이인 *A. verticis*에서도 성장단계에 따른 몸의 크기에 따라 서로 다른 종류의 바닥물질을 선호하는 것으로 나타났다(Bae and McCafferty, 1994). 그러나 바닥물질의 입자크기와 이질성에 관한 조사에서도 평균개체수에 대한 표준편차의 변이가 매우 크게 나타나므로 보다 면밀한 실험이 요구된다 하겠다.

Table 1. Comparison of the larval frequency and the individual number of *R. coreanus* and *P. yooni* by current velocity. Larvae were randomly sampled by a Surber sampler (50 cm × 50 cm) at a riffle-pool sequence of Kapyong creek from May 1994 to August 1995.

Species	Current velocity (cm/s)	No. of samplings	Frequency	Total no. of individuals	Mean no. of individuals (Mean ± SD)
<i>R. coreanus</i>	0 ~ 9.9	35	16	1046(23.5%)	65.38 ± 113.9
	10.0 ~ 24.9	34	23	1868(42.0%)	81.22 ± 175.4
	25.0 ~ 145.0	59	36	1536(34.5%)	42.67 ± 47.8
	total	128	75	4450(100%)	
<i>P. yooni</i>	0 ~ 9.9	35	0	1072(38.2%)	53.60 ± 85.5
	10.0 ~ 24.9	34	20	1085(38.6%)	54.25 ± 49.3
	25.0 ~ 145.0	59	24	652(23.2%)	27.17 ± 44.0
	total	128	64	2809(100%)	

Table 2. The larval frequency and the individual number of *R. coreanus* and *P. yooni* by substrate particle size (median diameter: MD). Larvae were randomly sampled by a Surber sampler (50 cm × 50 cm) at a riffle-pool sequence of Kapyong creek from May 1994 to August 1995.

Species	MD (Phi) (mm)	No. of samplings	Frequency individuals	Total no. of individuals (Mean ± SD)	Mean no. of
<i>R. coreanus</i>	1 (0.5 ~ 1)	1	0	0	0.0 ± 0.0
	0 (1 ~ 2)	6	2	28	14.0 ± 6.0
	-1 (2 ~ 4)	9	2	20	10.0 ± 6.0
	-2 (4 ~ 8)	7	3	48	16.0 ± 6.5
	-3 (8 ~ 16)	6	6	300	50.0 ± 56.4
	-4 (16 ~ 32)	21	9	732	81.3 ± 127.5
	-5 (32 ~ 64)	42	27	2115	78.3 ± 157.9
	-6 (64 ~ 128)	28	20	916	45.8 ± 66.2
	-7 (128 ~ 256)	8	6	291	48.5 ± 46.4
	total	128	75	4550	
<i>P. yooni</i>	1 (0.5 ~ 1)	1	0	0	0.0 ± 0.0
	0 (1 ~ 2)	6	3	20	6.7 ± 3.7
	-1 (2 ~ 4)	9	3	28	9.3 ± 7.5
	-2 (4 ~ 8)	7	6	316	52.7 ± 45.6
	-3 (8 ~ 16)	6	5	460	92.0 ± 102.9
	-4 (16 ~ 32)	21	12	575	47.9 ± 46.0
	-5 (32 ~ 64)	42	21	738	35.1 ± 38.3
	-6 (64 ~ 128)	28	13	668	51.4 ± 85.3
	-7 (128 ~ 256)	8	1	4	4.0 ± 0.0
	total	128	64	2809	

정량채집시 채집지점의 돌을 들어내며 관찰하였을 때 강하루살이와 금빛하루살이가 약 MD Phi = -6의 입자크기에 가장 많이 달라붙어 있었고, 이들 두 종이 한 하천의 riffle-pool sequence에서는 흔히 같이 서식하지만 한 돌에 동시에 붙어있는 경우가 거의 없는 점도 매우 흥미로운 일이라 하겠다.

3. 앞으로의 연구

이번 조사에서는 야외관찰과 정성 및 정량채집을 통

하여 강하루살이와 금빛하루살이의 광범위 분포와 유속 및 바닥물질의 특성에 따른 분포양상을 알아보는데 주안점을 두었으나, 앞으로는 이와 연계하여 1) 유속과 바닥물질의 구성에 따른 명확한 미소서식처의 선호도를 알기 위한 다각적인 야외 및 실험실내의 실험, 2) 유충의 성장 단계별 서식처 선택에 관한 조사, 3) 굴파는 행동과 같이 서식처 선택과 관련된 행동학적 연구 등이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Table 3. The larval frequency and the individual number of *R. coreanus* and *P. yooni* by substrate heterogeneity (quartile deviation: QD). Larvae were sampled by a Surber sampler (50 cm × 50 cm) at a riffle-pool sequence of Kapyong creek from May 1994 to August 1995.

Species	QD (Phi)	No. of samplings	Frequency	No. of individuals	Mean no. of individuals
<i>R. coreanus</i>	0.0	3	0	0	0.0 ± 0.0
	0.5	41	23	1315	57.2 ± 93.7
	1.0	56	34	2300	67.6 ± 146.4
	1.5	21	17	695	40.9 ± 40.3
	2.0	6	0	0	0.0 ± 0.0
	2.5	1	0	0	0.0 ± 0.0
	total	128	74	4310	
<i>P. yooni</i>	0.0	3	0	0	0.0 ± 0.0
	0.5	41	19	590	31.1 ± 51.3
	1.0	56	28	1507	53.8 ± 74.7
	1.5	21	12	440	36.7 ± 40.0
	2.0	6	4	252	63.0 ± 38.7
	2.5	1	1	20	20.0 ± 0.0
	total	128	64	2809	

적 요

인 용 문 헌

1994년부터 1997년까지 경기도 가평천에서 강하루살이과에 속하는 강하루살이와 금빛하루살이의 광범위 분포와 미소서식처를 밝히기 위하여 야외조사를 실시하였다. 광범위 분포양상은 하순, 고도, 하폭, 유속 등 일반적 환경요인을 고려하여 정성적 방법으로 조사하였고, 미소서식처는 바닥물질의 입자크기와 이질성을 고려하여 정량적 방법으로 조사하였다. 조사의 결과 강하루살이와 금빛하루살이는 하순 6, 하폭 50 m 이상의 하천의 중류부터 큰강의 본류까지 동소적으로 분포하였고, 하천의 흐름이 완만하고 모래, 왕모래 및 자갈로 된 바닥에 주먹돌이나 호박돌이 묻혀있는 곳에서 주로 발견되었다. 수질은 비교적 깨끗한 물에서부터 다소 유기물 오염이 된 곳까지 나타났다. 바닥물질의 입자크기에 대한 선호성은 강하루살이가 median diameter (MD) $\Phi = -3 \sim -7$ 에서, 금빛하루살이는 MD $\Phi = -2 \sim -6$ 에서 많이 출현하였고, 이질성에 대한 선호도는 강하루살이가 quartile deviation (QD) 0.5 ~ 1.5에서, 금빛하루살이가 QD 0.5 ~ 2.5에서 출현하여 금빛하루살이가 강하루살이에 비하여 다소 작고 이질적인 바닥물질에 대한 선호도를 나타냈다.

김창환, 윤일병, 이종욱. 1980. 한강본류의 저서성 대형무척추 동물에 의한 생물학적 수질평가에 관한 연구. 자연보존연구보고서 2: 147-156.

배연재. 1996. 한국 수서곤충 연구의 현황과 과제. 96 한국육수학회 심포지움 p. 63-71.

윤일병, 노태호, 이선희. 1990. 가평천 수계의 수서곤충 군집에 관한 연구. 한국곤충학회지. 20: 41-51.

윤일병, 배연재, 이현철, 이상조, 1993. 서울 근교 왕숙천의 유역 환경변화에 따른 수서곤충 군집의 장기변동. 환경생물학회지. 11: 97-109.

윤일병, 변종욱. 1981. 한강본류의 생물학적 및 이화학적 수질 분석에 관한 비교연구. 자연보존연구보고서 3: 391-411.

Bae, Y.J., I.B. Yoon, and D.J. Chun. 1994. A catalogue of the Ephemeroptera of Korea. Entomological Research Bulletin, KEI, Seoul 20: 31-50.

Bae, Y.J. and S. Andrikovics. 1997. Mayfly (Ephemeroptera) fauna of North Korea (2). Insecta Koreana. CIS, Korea 14: 153-160.

Bae, Y.J. and W.P. McCafferty. 1991. Phylogenetic systematics of the Potamanthidae (Ephemeroptera). Trans. Am. Ent. Soc. 117: 1-143.

Bae, Y.J. and W.P. McCafferty. 1994. Microhabitat of *Anthopotamus verticis* (Ephemeroptera: Potamanthidae). Hydrobiol. 288: 65-78.

Bae, Y.J. and W.P. McCafferty. 1995. Ephemeroptera tusks and their evolution. pp. 377-405. In: Current (L. Corkum and J. Ciborowski eds.), Directions in Research on Ephemeroptera. Canadian Scholar's Publishing, Inc.,

사 사

이 연구는 1997년도 한국과학재단 국내 Post-doc. 연구과제 지원에 의하여 수행되었음.

Toronto.

- Bartholomae, P.G. and P.G. Meier. 1977. Notes on the life history of *Potamanthus myops* in Southeastern Michigan (Ephemeroptera: Potamanthidae). *Great Lakes Entomol.* **10**: 227-232.
- Craig, D. A. 1987. Some of what you should know about water. *Bull. North Am. Benthol. Soc.* **4**: 178-182.
- Keltner, J. and W.P. McCafferty. 1986. Functional morphology of burrowing in the mayflies *Hexagenia limbata* and *Pentagenia vittigera*. *Zool. J. Linn. Soc.* **87**: 139-162.
- Lamberti, G.A. and V.H. Resh. 1979. Substrate relationships, spatial distribution patterns and sampling variability in a stream caddisfly population. *Environ. Entomol.* **8**: 561-567.
- McCafferty, W.P. 1991. Towards a phylogenetic classification of the Ephemeroptera: a commentary on systematics. *Ann. Ent. Soc. Am.* **84**: 343-360.
- Minshall, G.W. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. pp. 358-400. In *The Ecology of Aquatic Insects*. (V.H. Resh and D.M. Rosenberg eds). Praeger. New York.
- Munn, M.D. and R.H. King. 1987. Life history of *Potamanthus myops* (Walsh) (Ephemeroptera: Potamanthidae) in a Central Michigan Stream. *Am. Midl. Nat.* **117**: 119-125.
- Watanabe, N.C. 1988. Life history of *Potamanthodes kamonis* in a stream of central Japan (Ephemeroptera: Potamanthidae). *Verh. Limnol.* **23**: 2118-2125.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**: 377-392.