

수심에 따른 줄(*Zizania latifolia*) 개체군의 경엽부 성장 비교

조강현 · 김준호*

인하대학교 생물학과, 서울대학교 생물학과*

Comparison of Shoot Growth in the Populations of *Zizania latifolia* along Water Depth

Cho, Kang-Hyun and Joon-Ho Kim*

Department of Biology, Inha University

Department of Biology, Seoul National University*

ABSTRACT

Differences in physicochemical characteristics of sediment and changes in density, height and dry matter of shoots along different water depths were investigated in the stands of *Zizania latifolia* populations of the littoral zone of Lake Paltangho, Korea. Any significant differences in sediment chemistry were not found along water depth, although sand content decreased slightly with increasing depth. Shoot density of *Zizania latifolia* decreased with increasing water depth. In shallower water, many of the short shoots died in the early growth stages. The morphology of shoots was taller and heavier in deeper water. The distributions of shoot heights became negatively skewed and leptokurtic as plants grew, and these changes occurred in the earlier growth stages in deeper water. The standing crop of shoots increased with increasing water depth. These results suggest that *Zizania latifolia* has a growth strategy for adjustment to deep water through decreasing shoot density and increasing height.

Key words: *Zizania latifolia*, Lake Paltangho, Water depth, Shoot growth, Population density.

서 론

호소의 연안대에 분포하는 대형수생식물은 수심에 따라 비교적 일정하고 뚜렷한 대상분포로 생태적 지위를 분리하는데 그 이유는 수심이 깊어짐에 따라, 빛, 수온, 수압, 파도, 수체의 화학적 특성 및 저토의 이화학적 특성이 변하기 때문이다 (Hutchinson 1975, Spence 1982). 특히 물의 깊이에 따라 정수식물이 받은 물리적, 생리적 제약이 다르기 때문에, 수심은 이들 정수식물의 분포와 생산성을 결정하는 주요한 요인이다 (Sculthorpe 1967, Armstrong 1979).

줄(*Zizania latifolia* Turcz.)은 호소나 하천의 연안대에서 군락을 형성하는 다년생 정수식물으

로서 저토 속에서 굵은 지하경이 옆으로 뻗으면서 총생한다. 팔당호에서 줄은 39.8 ha의 넓은 면적에 분포하며 특히 경안천 하구의 동쪽 호안에 번성하고 있다 (조 1992). 이곳에서 줄은 수심이 0 cm로부터 약 60 cm에 이르는 다양한 범위에서 번성하고 있다.

본 연구의 목적은 팔당호 연안대의 줄 생육지에서 수심에 따른 저토환경의 특성과 식물의 밀도, 형태 및 생장에 대한 전략을 개체군 생태학의 입장에서 논의하는데 있다.

현장 조사에서 도움을 주신 박순영, 김종욱씨에게 감사드립니다.

조사지 개황

본 연구의 조사지는 경안천이 팔당호에 유입하는 경기도 광주군 퇴촌면 광동리 앞의 하구이다 (Fig. 1). 이 수역은 댐 건설 이전의 논이 담수 후에 얇고 넓은 연안대(littoral zone)로 변화하였

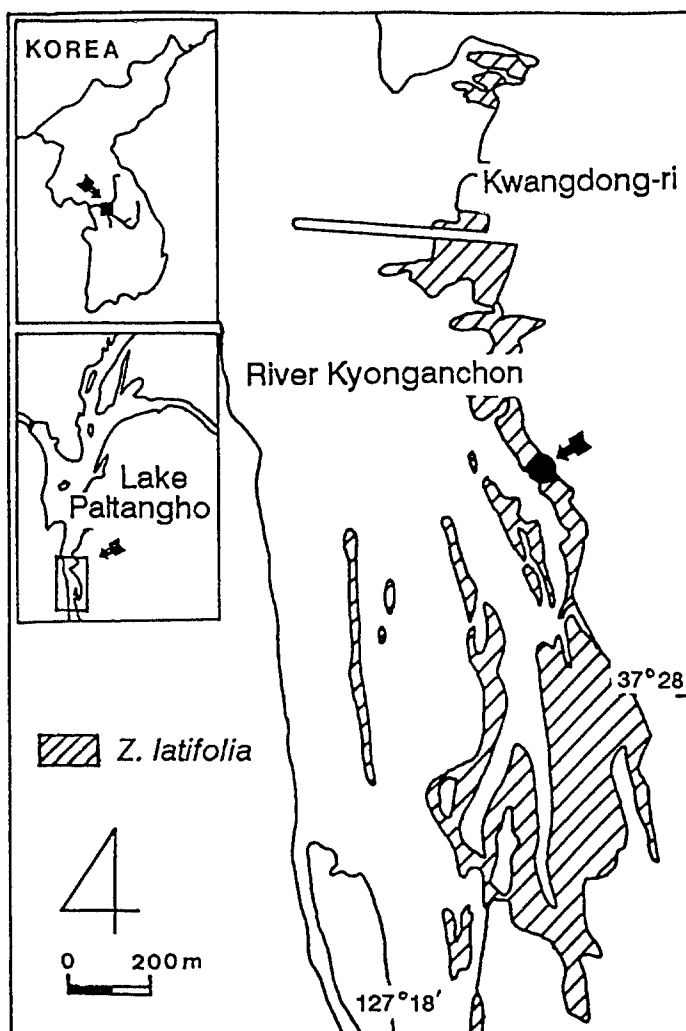


Fig. 1. Map showing the study area. The hatched parts indicate the area occupied by *Zizania latifolia*.

고, 여기에 줄(*Zizania latifolia*)이 번성하고 있다.

줄 생육지는 담수 이전에 계단식 논이었기 때문에 호저의 깊이가 다른 연안대가 길게 형성되어 있다. 수심이 얇은 호안으로부터 호심을 향하여 transect를 설치하고 수심이 다른 3 장소를 조사지로 설정하였다. 수심이 얇은 곳은 평균 10 cm 깊이었었고, 중간인 곳은 30 cm 깊이, 깊은 곳은 50 cm 깊이로서 20 cm의 수심차를 두었다. 팔당호의 수위 변동은 연평균 약 25 cm로서 조사지의 수심이 비교적 안정되어 있다 (국립환경연구원 1988).

연구방법

저토의 이화학 분석

저토 시료는 1988년 4월에 각 조사지소에서 10 cm 깊이까지의 저토를 5 반복으로 채취한 후, 실험실로 운반하여 그늘에서 건조하였다. 저토의 pH는 음건토양과 증류수를 1:5로 희석하여 pH meter (Fisher Model 230A)로 측정하였고, 유기물 함량은 작열손실법, 총질소량은 micro-kjeldahl법, 유효 인량은 Bray I 용액(Bray and Kurtz 1945)으로 추출한 후 ascorbic acid법 (APHA 1989), 치환성 칼륨량은 1 N ammonium acetate로 추출하여 flame photometer법 (Coleman Model 51)으로 정량하였다. 저토의 입경은 비중계법으로 분석하고 미국 농무성법에 따라 분류하였다 (Black *et al.* 1973).

경엽부의 생장 조사

조사지소에서 3개의 0.5 m × 0.5 m 방형구내에 있는 줄의 경엽부(shoot)를 1988년 4월~10월에 월 1회씩 저토면에서 절취하였다. 실험실로 운반한 경엽부는 높이, 밀도 및 80°C의 건조량을 기록하였다. 줄의 경엽부 무게와 높이의 상관 분석을 위하여 7월 중순에 현장에서 경엽부의 높이와 용수철 저울 (최대용량 100 g 및 500 g)로 생중량을 측정하였다. 또한 줄 개체군의 생장에 따른 경엽부 높이를 3개의 영구방형구(0.5 m × 0.5 m)내에서 1988년 5월 18일, 7월 27일 및 8월 20일에 측정하여, 경엽부 높이의 빈도분포를 작도하였다.

자료 처리

깊이별 저토 환경요인의 차는 Duncan의 다중검정으로 유의성을 검정하였다(SAS 1985). 경엽부 높이의 빈도분포가 정규분포로부터 벗어난 정도를 파악하기 위하여 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)를 계산하고 t-검정을 하였다 (Sokal and Rohlf 1981). 빈도분포는 왜도가 양수이면 오른쪽으로 긴 꼬리를 가진 L자형, 음수이면 왼쪽으로 긴 꼬리를 가진 J자형으로서 정규분포로부터 왜곡됨을 나타내고, 첨도가 양수이면 첨두형(leptokurtosis), 음수이면 둔두형(platykurtosis) 분포임을 나타낸다.

개체군내 경엽부 높이의 불균등도(inequality)를 알기 위하여 Gini 계수(Weiner and Solbrig 1985)와 변이계수 (Sokal and Rohlf 1981)를 계산하였다. Gini 계수(G)는 다음 식에 따라 구하였다.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [y_i - y_j]}{2 n^2 \bar{y}}$$

여기에서 n 은 조사 식물 총수이고 y 는 식물의 높이이다. Gini 계수와 변이계수가 크면 개체군의 개체 높이가 더욱 이질적임을 나타낸다.

결 과

저토 환경 요인

수심에 따른 저토의 유기물함량, 총질소량, 유효 인량, 치환성 칼륨량 및 pH와 같은 화학적 특성은 Duncan의 다중검정 결과 유의한 차가 없었으나, 저토 입경 분포와 같은 물리적 특성은 얕은 수심에서 유의하게 모래함량이 많고 미사와 점토의 함량이 적었다(Table 1).

Table 1. Physicochemical characteristics of sediments in *Zizania latifolia* populations along water depth

Characteristics	Water depth		
	10 cm	30 cm	50 cm
Organic matter (%)	6.2 ^a	6.2 ^a	6.9 ^a
Total nitrogen (mg/g)	1.7 ^a	2.2 ^a	2.1 ^a
Available phosphorus ($\mu\text{g/g}$)	4.6 ^a	2.1 ^a	3.8 ^a
Extractable potassium (mg/g)	51.3 ^a	53.0 ^a	62.4 ^a
pH	4.5 ^a	4.5 ^a	4.4 ^a
Sand (%)	64.2 ^a	56.9 ^b	54.2 ^b
Silt (%)	26.2 ^a	26.8 ^a	30.1 ^b
Clay (%)	9.6 ^a	16.3 ^b	15.7 ^b

* Different superscripts indicate a significant difference at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

경엽부의 밀도

줄의 경엽부는 4월에 지하경이나 수중경으로부터 나오기 시작하였다. 경엽부 밀도는 5월에 수심 10, 30 및 50 cm에서 각각 570, 260 및 200 개/ m^2 (2.9 : 1.3 : 1.0)로서 최대에 이른 후 감소하여 7월 이후에 각각 180, 110 및 100 개/ m^2 (1.8 : 1.1 : 1.0)로 안정되었다 (Fig. 2). 그러나 수심 30 과 50 cm에서는 8월 이후에 수면위의 경엽부가 쓰러졌고, 이 쓰러진 수중의 줄기 마디에서 새 경엽부가 발생하여 밀도가 증가하였다. 그러므로 생육 후기에 새 경엽부가 출현하는 시기를 제외한다면 수심이 깊을수록 경엽부 밀도는 낮았다.

봄에 출현한 경엽부의 생존률의 변화를 파악하기 위하여 5월에 현존하는 경엽부를 하나의 동시출생집단(cohort)으로 간주하고 그들의 감소곡선(depletion curve)을 작도한 결과 대체로 Deevy I 형에 부합하였지만, 5월 이후 약 60일간에 지수함수적인 고사가 일어나서 밀도가 급격히 감소하였다 (Fig. 3). 이러한 초기의 밀도감소는 특히 수심이 얕은 곳에서 커서, 5월의 현존 경엽부의 밀도는 약 100일 후에 10, 30 및 50 cm 깊이에서 초기 밀도의 각각 31%, 43% 및 51%로 감소하였다. 그리고 생육말기에는 모든 수심에서 자연고사가 일어나 밀도가 급격히 감소하였다.

경엽부의 높이와 빈도분포

경엽부 높이는 5월부터 8월까지는 수심이 깊을수록 높으며 각 수심간 경엽부 높이의 차이는

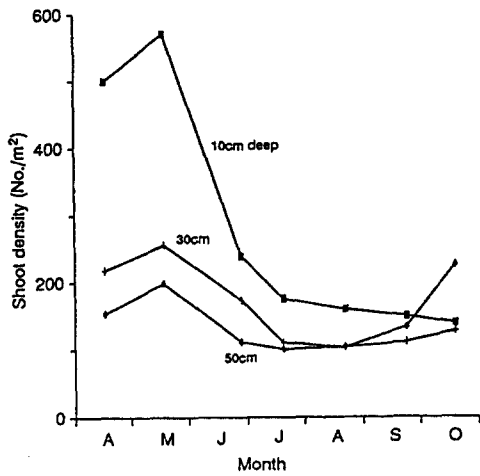


Fig. 2. Seasonal changes in shoot density of *Zizania latifolia* populations along water depth.

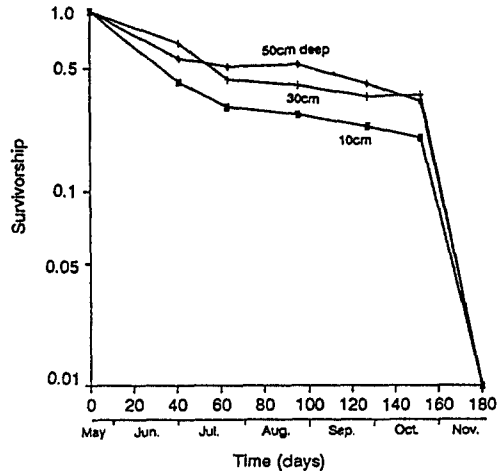


Fig. 3. Depletion curves of shoots living in May in *Zizania latifolia* populations along water depth.

약 20 cm이었다 (Fig. 4). 그러나 8월 이후에 수심이 깊은 곳에서 쓰러진 줄기의 마디로부터 새 경엽부가 출현하였으므로 평균 경엽부 높이는 급격히 감소하였다. 경엽부의 최대높이는 수심 50 cm와 30 cm 깊이에서 8월에 각각 230 cm와 220 cm이었으며 수심 10 cm 깊이에서 9월 하순에 180 cm이었다.

일반적으로 식물개체군에서 크기 빈도분포는 개체 무게로서 표시한다 (Hutchings 1986). 그러나 Fig. 5와 같이 줄의 경엽부 무게와 높이는 유의한 상관이 있으므로 본 연구에서는 크기 빈도분포를 경엽부의 높이로 나타내었다.

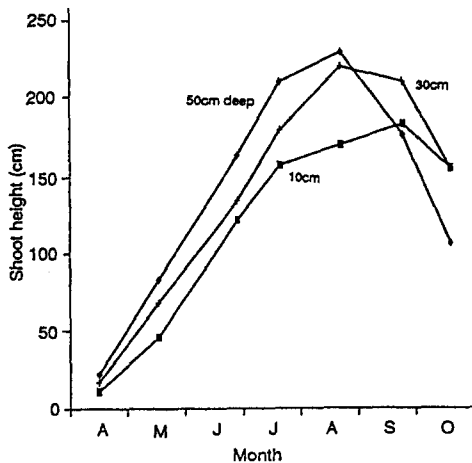


Fig. 4. Seasonal changes in shoot height of *Zizania latifolia* populations along water depth.

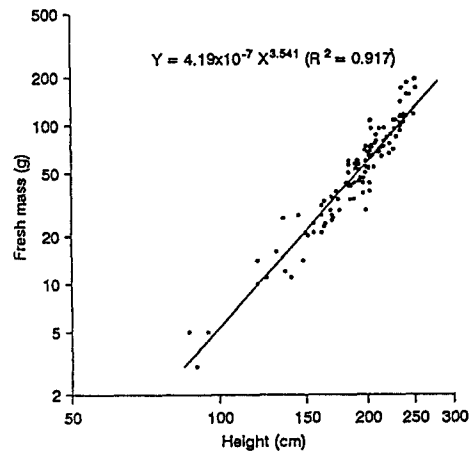


Fig. 5. Relationship between fresh mass and height of unit shoot of *Zizania latifolia*.

Fig. 6은 수심이 다른 3 지소에서 5월 17일, 7월 27일 및 8월 20일에 경엽부 높이의 빈도분포를 나타낸 것이다. 이 분포가 정규분포로부터 벗어난 정도를 왜도와 첨도로 표시하였고 경엽부 높이의 불균등성을 Gini 계수와 변이계수로 나타내었다 (Table 2). 모든 수심에서 생육이 진행됨에 따라서 경엽부 높이의 빈도분포는 그 왜도가 유의한 음수이고 첨도가 유의한 양수로서 J자 모양의 첨두형으로 변하였다. 이와 같은 빈도분포의 pattern은 수심이 깊을수록 더욱 일찍 나타났다. 경엽부 높이의 Gini 계수와 변이계수는 생육이 진행됨에 따라 작아졌으며 수심이 깊을수록 그 감소속도가 빨랐다. 그러므로 생육이 진행됨에 따라 경엽부의 높이는 균등해지고 특히 수심이 깊을수록 균등해지는 속도가 빨랐다.

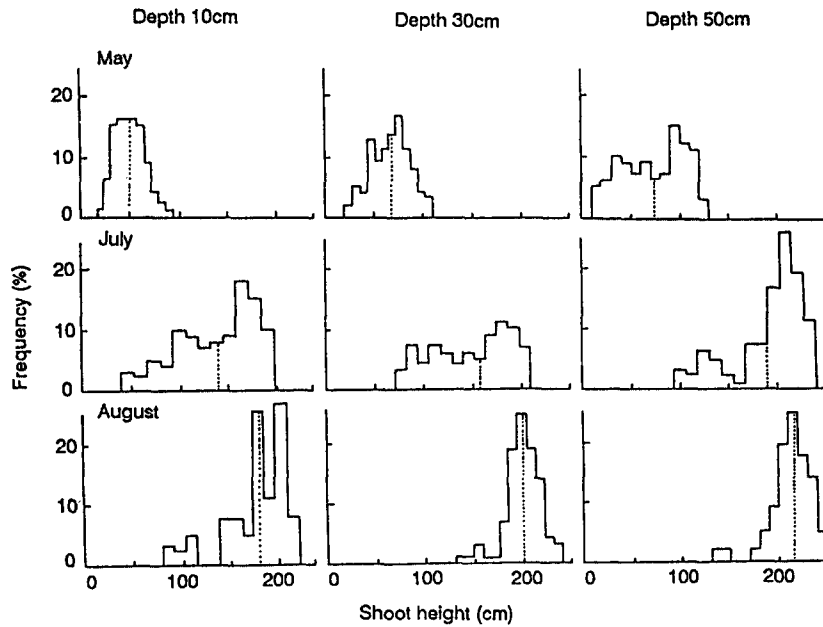


Fig. 6. Frequency distribution of shoot heights in May, July and August in *Zizania latifolia* populations along water depth. The dotted lines indicate average heights.

Table 2. Skewness, kurtosis, Gini coefficient and coefficient of variance in frequency distribution of shoot heights of *Zizania latifolia* populations along water depth

Water depth	Date	Skewness	Kurtosis	Gini coefficient	Coefficient of variance
10 cm	17 May	0.19 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	0.16	0.28
	27 Jul.	-0.53*	-0.68 ^{ns}	0.16	0.29
	20 Aug.	-1.34***	1.60**	0.09	0.18
30 cm	17 May	-0.19 ^{ns}	-0.63*	0.16	0.28
	27 Jul.	-0.70**	-0.89*	0.13	0.24
	20 Aug.	-0.96***	2.02***	0.05	0.10
50 cm	17 May	-0.23 ^{ns}	-1.22***	0.25	0.44
	27 Jul.	-1.17***	0.31 ^{ns}	0.10	0.19
	20 Aug.	-1.56***	4.40***	0.05	0.09

^{ns} ; not significant, * ; p<0.05, ** ; p<0.01, *** ; p<0.001

경엽부의 현존량

경엽부 하나의 평균 건물량은 수심 10, 30 및 50 cm 깊이에서 4월부터 증가하기 시작하여 8월에 각각 8, 14 및 19 g으로 최대값이 된 후 감소하였다 (Fig. 7). 8월의 최대 성장기까지 수심이 깊을수록 경엽부의 무게가 증가하였으며, 50 cm 깊이에서 8월 이후에 급격히 감소하는 것은 이 시기에 경엽부가 새로 출현하였기 때문이다. 경엽부의 최대현존량은 8월에 10, 30 및 50 cm 깊이에서 각각 1270, 1480 및 2000 g DM /m²로서, 수심이 깊을수록 많았다.

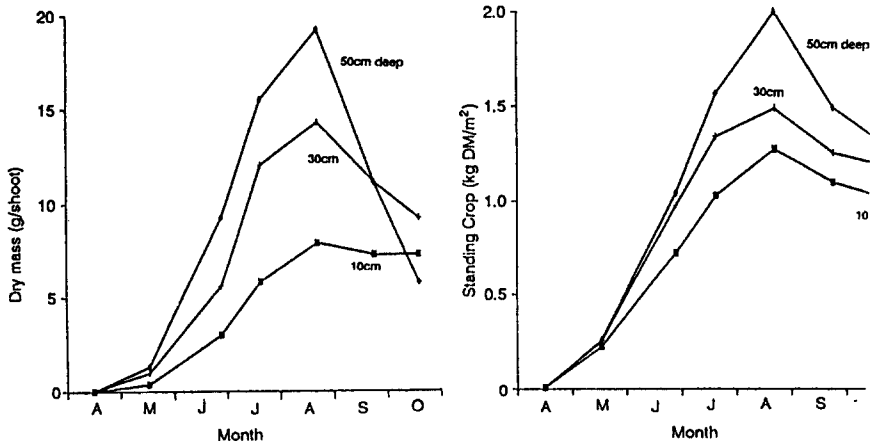


Fig. 7. Seasonal changes of unit shoot weight and standing crops of shoot per unit area in *Zizania latifolia* populations along water depth.

고 찰

팔당호 연안대에서 줄 경엽부의 밀도, 높이 및 건물량은 수심에 따라 달랐는데, 그 원인은 저토의 유기물함량, 총질소량, 유효 인량, 치환성 칼륨량 및 pH와 같은 화학적 특성의 차이와 관계가 없고 (Table 2), 오히려 수심에 대응하는 식물 성장 전략의 차이에 있다고 판단된다.

Grace(1989)는 수심에 따른 정수식물의 성장 전략을 탄소수지(carbon budget)의 모형으로 설명하였다. 즉 수심이 깊어지면 수중에서 빛이 급격히 감소됨으로써 생장이 제한되며 (Spence 1982), 식물은 이에 대응하여 호흡 손실을 줄이고 광합성 부위를 증가시키는 에너지 분배 전략을 가지게 된다 (Mooney 1972). 실제로 팔당호 연안대에서 수심이 깊어짐에 따라 줄 경엽부의 키가 높아졌고, 특히 그 높이의 차는 수심의 차와 일치하였다 (Fig. 4). 즉 수심이 깊어지면 수중경의 절간 신장이 일어나서 광합성 부위가 물 위로 신속히 솟아 오를 수 있다(Lieffers and Shay 1981, Thomas and Stewart 1969). 이와 같이 수심이 깊어짐에 따른 경엽부의 신장은 *Zizania aquatica* (Stevenson and Lee 1986), *Typha* 속 식물 (Grace 1989, Grace and Wetzel 1982), *Carex rostrata* (Bernard 1976, Hultgren 1989), *Scirpus maritimus* (Lieffers and Shay 1981), *Nelumbo nucifera* (Nohara and Tsuchiya 1990) 등의 여러 정수식물과 부엽식물에서 보고되고 있다. 또한 줄은 수심이 깊을수록 경엽부 하나의 건물량과 단위면적당 현존량이 증가하였다 (Fig. 7). 그러므로 조사된 수심 범위에서 줄은 수심이 깊어짐에 따라 지하부나 생식기관보다 경엽부의 영양기관으로 에너지가 많이 분배됨으로써 경엽부 현존량이 증가된 것으로 해석된다

(Grace 1989).

한편 줄의 경엽부 밀도는 수심이 깊어짐에 따라서 감소하였다 (Fig. 2). 대부분의 벼과 영양생장식물의 경엽부 생존곡선은 Deevy I형에 속하는데 (정 1989), 줄은 특히하게 생육초기에 밀도의 감소가 컸으며 특히 수심이 얇을수록 밀도 감소가 커서 경엽부 사이의 경쟁에 의하여 자연선택이 더욱 많이 일어남을 알 수 있었다 (Fig. 3). 경엽부 높이의 빈도분포는 수심이 깊을수록 보다 빨리 J자 모양으로 왜곡되고 첨두형으로 변하였으며 불균등도가 감소하였다 (Fig. 6 및 Table 2). 이와 같은 빈도분포의 변화는, 작은 경엽부가 수광에 불리하여 경쟁력이 작아서 고사하고 큰 것만이 일정한 높이에 도달하기 때문이다. 이상의 결과로 보아 수심이 깊을수록 경엽부 사이에 경쟁은 빨리 일어나고, 경엽부의 높이는 보다 일찍 균일하게 되는 것으로 판단된다.

Harper(1978)는 영양생장 식물이 환경 스트레스를 받으면, 자신의 형태를 바꾸기 보다 module 수를 변화시키는 쪽으로 반응한다고 하였고, Kawano 등(1982)은 module 수가 변하기 보다는 기존 개체의 영양생장이 증가한다고 주장하였는데, 줄은 수심에 따라 이 두가지 전략을 모두 가지는 것으로 판단된다. 즉 줄은 수심이 깊어지면 경엽부 밀도를 감소시키고, 경엽부의 높이와 무게를 증가시키는 전략을 가짐으로써, 물 위로 높이 솟아 오를 수 있다 (Hultgren 1989).

적 요

팔당호 연안대에서 수심에 따른 줄(*Zizania latifolia*) 개체군의 저토 환경, 경엽부의 밀도, 높이 및 현존량을 조사하였다. 저토의 pH, 유기물함량, 총질소량, 유효태 인량 및 치환성 칼륨량은 수심에 따른 유의한 차이가 없었으나, 모래 함량은 수심이 깊을수록 적었다. 줄 경엽부의 밀도는 수심이 깊을수록 낮았으며, 특히 수심이 얇은 곳에서는 생육초기에 밀도가 급격히 감소하였다. 수심이 깊을수록 경엽부의 키가 높았고 경엽부 하나의 건물량과 단위면적당 현존량이 많았다. 경엽부 높이의 빈도분포는 줄이 성장함에 따라서 J자형과 첨두형으로 변하였으며, 높이의 불균등도는 감소하였는데, 그 변화는 수심이 깊은 곳에서 보다 빨리 일어났다. 따라서 줄은 수심이 깊을수록 경엽부의 밀도가 낮아지고, 그 높이와 현존량이 증가하여 수면 위로 경엽부를 돌출시키는 성장전략을 가지는 것으로 해석된다.

인용문헌

- 국립환경연구원. 1988. 팔당 상수원 보호 종합대책에 관한 연구 (1차년도). 국립환경연구원, 서울. 525p.
- 정연숙. 1989. 수 중 근반형성식물의 영양생장과 모들의 동태. 서울대학교 박사 학위논문. 166p.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질순환과 질소와 인의 순환. 서울대학교 박사 학위논문. 233p.
- APHA. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, Baltimore. 1482p.
- Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Advances Bot. Res.* 7:225-332.
- Bernard, J. M. 1976. The life history and population dynamics of shoots of *Carex rostrata*. *J. Ecol.* 64:1045-1048.
- Black, C. A., D. D. Evans, J. H. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark. 1973. *Methods*

- of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Madison, 770p.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Grace, J. B. 1989. Effects of water depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis*. *Amer. J. Bot.* 76:762-768.
- Grace, J. B. and R. G. Wetzel. 1982. Niche differentiation between two rhizomatous plant species: *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Can. J. Bot.* 60:46-57.
- Harper, J. L. 1978. The demography of plants with clonal growth. *In*, Structure and Functioning of Plant Populations, A. H. J. Freyden and J. W. Woldendorp (eds.). North-Holland Publ., Amsterdam. pp. 27-48.
- Hultgren, A. B. C. 1989. Growth in length of *Carex rostrata* Stokes shoots in relation to water level. *Aquat. Bot.* 34:353-365.
- Hutchings, M. J. 1986. The structure of plant population. *In*, Plant Ecology. M. J. Crawley (ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 97-136.
- Hutchinson, G. E. 1975. A treatise on limnology. Vol. III. Limnological botany. Wiley, New York. 660p.
- Kawano, S. A., A. Hiratsuka and K. Hayashi. 1982. Life history characteristics and survivorship of *Erythronium japonicum*. *Oikos* 38:129-149.
- Lieffers, V. J. and J. M. Shay. 1981. The effects of water level on the growth and reproduction of *Scirpus maritimus* var. *paludosus*. *Can. J. Bot.* 59:118-121.
- Mooney, H. A. 1972. The carbon balance of plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 3:315-346.
- Nohara, S. and T. Tsuchiya. 1990. Effects of water level fluctuation on the growth of *Nelumbo nucifera* Gaertn. in Lake Kasumigaura, Japan. *Ecol. Res.* 5:237-252.
- SAS. 1985. SAS /STAT guide for personal computers. SAS Inc., Cary. 378p.
- Sculthorpe, C. D. 1967. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold, London. 610p.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1981. Biometry. W. H. Freeman, San Francisco. 859p.
- Spence, D. H. N. 1982. The zonation of plants in freshwater lakes. *Advances in Ecological Research* 12:37-125.
- Stevenson, S. C. and P. F. Lee. 1986. Ecological relationships of wild rice, *Zizania aquatica*. 6. The effects of increases in water depth on vegetative and reproductive production. *Can. J. Bot.* 65:2128-2132.
- Thomas, A. G. and J. M. Stewart. 1969. The effect of different water depths on the growth of wild rice. *Can. J. Bot.* 47:1525-1531.
- Weiner, J. and O. T. Solbrig. 1985. The meaning and measurement of size hierarchies in plant populations. *Oecologia* 61:334-336.