

월동기 민물도요 *Calidris alpina* 의 지방과 단백질의 변화

권기정·함규황*

동아대학교 생물학과, 경남대학교 생물학과*
(1992년 6월 25일 접수)

Variation of Fat and Protein Reserves in Wintering Dunlin, *Calidris alpina*

Ki Chung Kwon and Kyu Hwang Hahm*

Department of Biology, Dong-A University, Pusan,
*Department of Biology, Kyungnam University, Masan, Korea
(Manuscript received 25 June 1992)

Abstract

The changes of pectoral muscle size (as an index of protein reserves) and fat reserves (as an index of lipid) were measured in wintering Dunlin during 1988 -1989 on two estuaries located in the south coast of Korea. The mean of lean mass of February population was greater(11.8 %) than that of October population. SMI of October population was greater(4.5 %) than that of February population and lipid index of October population also greater(1.6 %) than that of February population. This show that the body condition of October population is better than February population. The mean of fat and protein reserves of 22 % of Dunlin arriving on October for their wintering were higher than that of others, this group seems to continue their migration to south further and 11 % of the wintering population seems to starve during winter.

KEY WORDS : lean mass, SMV (standard muscle volume), SMI (standard muscle index), lipid index, pectoral muscle

1. 서론

포유류와 조류가 지방과 단백질을 저장한다는 것은 널리 알려져 있다. 이와 같은 저장은 먹이 섭취가 충분치 않거나, 혹은 번식기간 중이거나, 가혹한 기후 조건 하에서 에너지의 균형이 요구 될때 사용이 된다 (Heroux, 1961 ; King, 1972 ; Blem, 1976 ; Davidson, 1981 ; Davidson 과 Evans, 1982).

특히 새에 있어서 저장된 지방과 단백질은 깃털갈이와 비행 이동 기간 중에도 역시 사용 된다 (Hanson, 1962 ; Berthold, 1975 ; Davidson, 1984).

유럽산 조류에서 지방과 단백질의 저장 및 이용에 대한 대부분의 연구는 계절적, 지리적 변화로 압축되는데, 지방과 단백질의 저장 혹은 보유는 계절과 위도 및 환경 변화와 상관 관계를 가진다고 보고되어있다 (King 과 Mewaldt, 1981 ; Davidson, 1982 ; Nolan 과 Ketterson, 1983 ; Evans, 1973 ; Davidson *et al.*, 1986 ; Fogden 과 Fogden, 1979).

그러나 한국산 조류의 지방과 단백질의 저장에 대해서는 조사 발표된 예가 없다. 그러므로 한국에서 가장 많이 월동하는 민물도요를 대상으로 하여 월동기 동안의 지방과 단백질의 저장량 및 변화를 알기 위하여 본 실험을 하였다.

※ 본 논문은 동아대 기초과학연구소 지원금으로 수행되었음.

※ 교육부 및 동아대 지원금으로 제20차 국제조류학회 (Christchurch, New Zealand)에서 구두 발표 되었음.

2. 재료 및 방법

민물도요는 1988년 10월 (9 개체)과 1989년 2월 (9 개체)에 낙동강 하구와 광양만에서 각각 채집하여 분석될때까지 -40°C 의 냉동고에 보관하였다.

새의 나이는 깃털의 특징 (Prater *et al.*, 1977)으로 구별하였으며, 암, 수의 구별은 내부 생식기의 구조로 판명하였다.

부리의 길이는 도요류에서 체형의 크기를 나타내는 가장 적합한 지시자 (Davidson, 1982) 이므로 1mm 수준까지 측정하였다.

적출된 오른쪽 가슴 근육과 사체는 -10°C 상태로 냉동 건조기에서 건조되었다. 건조된 후의 사체와 근육 조직의 지방은 Soxhlet 장치를 사용하여 석유 ether (60°-80°C b.p.) 로 추출한 후, 냉동 건조기에서 재 건조하여 지방을 제거한 건조 중량 (lean mass) 을 0.01 g 수준까지 측정하였다.

개체의 단백질 저장량은 가슴 근육의 크기에 대한 지수 (SMI, standard muscle index)로 비교하였는데, 이 지수는 Evans 와 Smith (1975)가 처음 유도하였고, Piersma *et al.*, (1984) 이 더욱 세밀하게 묘사하였다. 지수의 산정 방법은 다음과 같다.

$$\text{Lipid index : LX} = \frac{\text{fat (g)}}{\text{total body weight (g)}} \times 100$$

$$\text{Pectoral muscle volume (SMV) : } V = b (ad + 0.433c^2)$$

a=length of the sternum

b=height of the keel of the sternum

c=distance from the keel to the end of the coracoid

d=width of the bony raft of the sternum

$$\text{Standard muscle index : SMI} = \frac{\text{lean dry pectoral muscle (g)}}{V}$$

3. 결 과

10월과 2월의 민물도요 두 개체군(성조)을 비교하였을때 부리의 크기 (BL)와 흉골에 대한 흉근의 부착점 (SMV, standard muscle volume) 에 의해 측정이 되는 체형의 평균크기는 차이가 없다(on-way ANOVA BL : F=0.81 P=0.38, SMV : F= 0.41 P=0.53). 그러므로 두 개체군은 동일 번식 개체군으로 추정된다. 도요류의 생체 중량은 변화가 많지만 지방을 제거한

건조 중량(lean mass)은 변이가 적다. 그러므로 계절적인 변화가 감지되어 왔다 (Evans와 Smith, 1975).

시베리아에서 번식을 끝내고 한국의 남해안에 도착 후 잡힌 민물도요 10월 개체군의 lean mass는 평균 14.38 g (13.31 - 15.59 g)였다. 이 중 두 개체는 평균치보다 각각 28.9 %, 22.7 % 더 무거워 (T-test, P < 0.001) 일본, 대만 더 나아가 호주에서 월동하는 개체군으로 사료된다(원, 1981 ; Hayman *et al.*, 1986 참조).

남해안에서 월동 중 잡힌 2월의 개체군의 평균 lean mass 는 16.07 g (14.59 - 18.37 g) 으로 10월 보다 11.8 % 비대하여 졌다 (Fig. 1.) (one-way ANOVA ; F=7.61 d.f.=1,12 P<0.05).

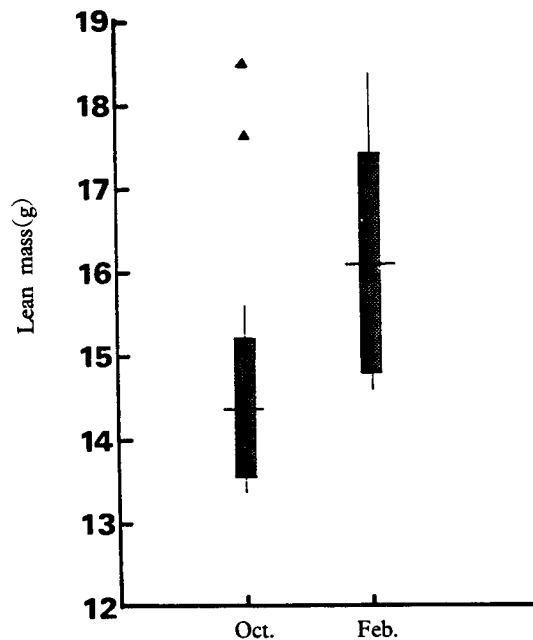


Fig. 1. Lean mass of Dunlin at south coast of Korea. Lean dry mass is plotted as the lean mass. The mean \pm 1 standard deviation and range is shown for each month. Filled symbols indicate further migrators to south.

SMI(standard muscle index)는 체형의 크기를 추정할 수 있는 가슴 근육 크기에 대한 지수이다 (Piersma *et al.*, 1984). 또한 월동기에 민물도요의 체형의 평균 크기에 대한 변화는 가슴 근육의 변이로 설명될 수 있는데, 이것은 체형의 크기에 영향을 받지 않는 단백질 저장에 대한 변이의 결과이다 (Davidson *et al.*,

1986).

민물도요의 SMI의 변이는 10월과 2월의 두 개체군 사이에 유의성이 있다. (on-way ANOVA $F=2.69$ d.f.=1,16 $P<0.10$). 민물도요 성조에서 10월과 2월의 근육의 크기(SMI)의 평균 차이는 0.01이나 실질적인 가슴근육의 단백질 보유는 4.5%의 차이가 났다. 이 가슴 근육의 양은 모두 단백질 저장으로 사용이 된다(Fig. 2).

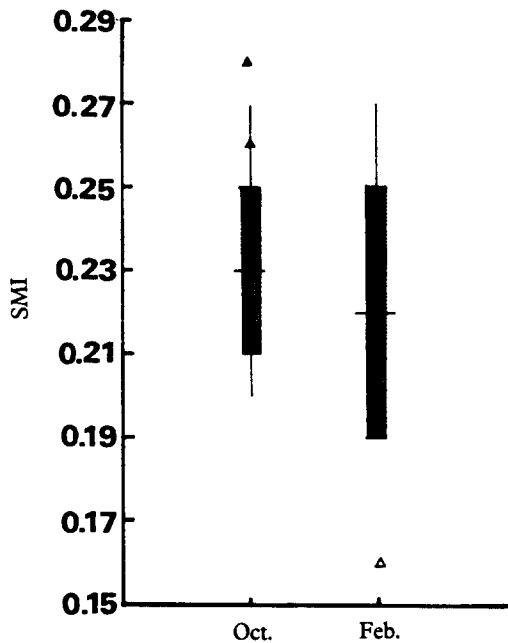


Fig. 2. Pectoral muscle mass of Dunlin at south coast of Korea. Pectoral muscle mass is plotted as standard muscle index. Filled symbols indicate further migrators to south, opened symbol indicates starve during winter.

민물도요가 월동하는 최북단 지역이며, 한 겨울의 기온이 타 지역보다 가장 낮은 북위 60°인 영국의 Firth of Forth에서 측정된 SMI는 0.293이며 이 종이 겨울 동안 최대한으로 단백질을 저장한 것이다 (Davidson *et al.*, 1986). 한 겨울의 평균 기온이 17°C 인 Morocco에서 채집된 자료의 SMI는 0.211이다 (Kersten 과 Piersma, 1983). 이 것은 3월 초순의 자료이며 봄철의 이동 직전에 근육이 비대된 것이므로 한 겨울에는 더 낮을 것이다 (Davidson, 1981). 또한 SMI가 0.10 이면 굶주리는 것을 뜻한다(Davidson 과 Evans, 1982).

Fig. 2. 와 비교하여 10월의 두 개체 (SMI=0.28, 0.26)는 더 멀리 비행 이동을하며, 2월의 한 개체 (SMI=0.16)는 월동기 동안 굶주리는 것으로 나타났다.

민물도요의 가슴 근육의 질량이 위도에 따라 변이를 나타내는 것은 몸의 크기에 의해 영향을 받지 않는 단백질 저장(보유)량의 변이 때문이다.

지방 (lipid index로 표시) 은 타 지역으로 날아가기 위한 연료와 매일의 삶을 위한 먹이 섭취 및 조건대가 일어 붙어 먹이를 먹을 수 없을 때를 대비하여 몸안에 비축이된다. 그러므로 비행 이동 직전에는 비행을 위해 필요한 양보다 더 많이 축적이 되어 안정된 수준을 유지한다 (Evans 와 Smith, 1975).

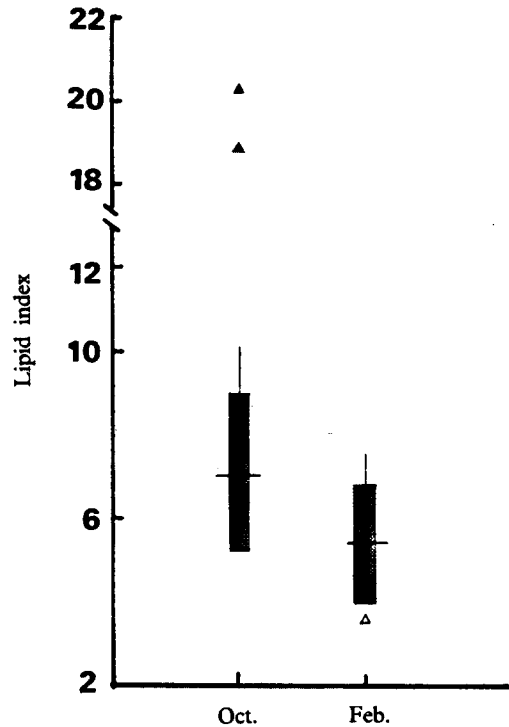


Fig. 3. Lipid indices (fat as a percentage of total body weight) of Dunlin at south coast of Korea. Filled symbols indicate further migrators to south, opened Symbol indicates starve during winter.

Fig. 3.에서 보는 바와 같이 더 멀리 날아가는 개체군 (T-test, $p<0.001$) 과 굶주린 개체 (T-test, $P<0.10$)을

제외한 lipid index의 평균치는 10월이 7.01 %, 2월이 5.42 % 로 나타났다 (on-way ANOVA : $F=2.416$ $P=0.14$).

4. 고 찰

민물도요는 귀향본능 (philopatry) 와 특정 서식지 중 귀소제한도 (site fidelity)가 대단히 심하다 (Davidson, 1981; Symonds *et al.*, 1984; Pienkowski 와 Evans, 1984; Clark, 1984). 그러므로 동일한 하구에서 월동하는 개체군의 가슴근육은 타지역으로 날아 갈 만큼 크지 않다.

만약 단백질 저장량이 지방 저장과 같은 방법으로 겨울동안 조절이 된다면 가슴 근육의 질량 (SMI)은 기후가 한냉한 하구에서 월동하는 새가 커야하며, 이 양은 단백질 저장으로 사용이 된다. 단 가슴 근육의 단백질량은 먹이 섭취량이 짧게 떨어지는 것에 대비하여 균형을 유지하는데 사용이 된다. SMI의 변이는 위도와 온도에 대하여 유의성을 가지며, 온도와 상관계가 위도보다 더 강하다 (Davidson *et al.*, 1986).

북위 51°(한겨울의 평균기온 6°C)에서 북위 56°(한겨울의 평균기온 3°C) 사이에 위치한 영국의 각 하구에서 측정된 SMI의 평균 (0.26 - 0.29) (Evans 와 Smith, 1975)과 북위 35°에 위치한 본 자료의 평균 (0.22 - 0.24)을 비교 하여 볼때 따뜻한 하구에서 월동하는 개체군이 상대적으로 적게 나타났다. 또한 Fig. 2. 의 결과는 10월의 개체군이 2월의 개체군보다 건강 상태가 약간 좋다는 것을 의미한다.

가슴 근육은 봄철의 이동 직전에 비대가 된다(Davidson, 1981, 1984). 한국의 민물도요는 대부분 4월에서 6월 사이에 시베리아로 이동을 한다. 그러므로 2월의 개체군은 가슴근육이 비대되지 않아 비행 이동의 준비가 되지 않은 것 같다.

대부분 도요류의 lipid index는 12월에 최고로 높게 나타나는데 그 이유는 낮의 길이가 짧아지고, 간만의 차이 그리고 간석지(체이지)가 얼음에 덮힘으로 인하여 채식시간이 제한을 받기 때문이다. 그러나 1월 이후에는 낮의 길이가 길어지므로 충분한 채식 시간을 가질 수 있게 되므로, 여분의 지방을 몸에 비축한다는 것은 energy면이나 적을 피하는 비행 행동 등에 장애가 된다.

또한 1년 중 일정 시기에 지방 함량이 높게 나타나는 것은 더 멀리 이동을 하는 개체이며, 적합한 수준으로 지방 저장이 유지되지 못하는 새는 충분한 먹이를 섭취하지 못한 결과이다 (Evans 와 Smith, 1975)

남해안에서 민물도요가 북쪽으로 이동하는 시기는 4월에서 6월 사이이다. 그러므로 2월은 북상 시기로서는 아직 이르며, 남해안의 간석지는 겨울동안 얼음에 덮히는 일이 거의 없으므로 여분의 지방을 체내에 저장한다는 것은 여러가지 면에서 비효율적이므로 lipid index는 월동기 동안 낮게 나타났다고 예상이 된다.

5. 결 론

1988년과 1989년 겨울에 한국의 남해안에 위치한 하구에서 월동하는 민물도요의 지방과 단백질의 변화를 조사 하였다.

평균 lean mass는 2월에 잡힌 개체군이 10월 보다 11.8 % 높게 나타났으며, SMI로 표시되는 단백질의 저장량의 평균은 10월의 개체군이 2월보다 4.5 % 높게 나타났고, lipid index로 표시되는 지방의 저장량은 10월이 1.6 % 높게 나타나 전반적으로 10월의 개체군이 2월보다 건강 상태가 양호 한 것으로 나타났다.

월동을 위해 10월에 도착하는 민물도요의 22%는 지방 및 단백질 저장량이 타 개체군의 평균보다 유효하게 높아 일본, 대만, 더 멀리는 호주에 까지 날아가는 통과조로 나타났으며, 남해안의 간석지에서 월동하는 개체군의 11 %는 굶주리는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 원병오, 1981, 한국동식물도감, 제 25권 동물편(조류생태), 문교부, 삼화출판사, 1126 pp.
- Berthold, P., 1975, Migration, control and metabolic physiology, in avian biology 5,77-128, Farner, D. S. and J.R. King (ed.), N.Y. Academic Press, 306 pp.
- Blem, C. R., 1976, Patterns of lipid storage and utilization in bird. Am. Zool.,16, 671-684.
- Clark, N.A. 1984, The ecology of Dunlin (*Calidris alpina* L.) wintering on the Severn estuary, unpubl. Ph. D. Thesis, University of Edinburgh, 250 pp.

- Davidson, N.C., 1981, Seasonal changes in the nutritional condition of shorebirds (Charadrii) during the non-breeding season, unpubl. Ph. D. Thesis, University of Durham, 230 pp.
- Davidson, N.C., 1982, Change in the body-condition of Redshanks during mild winter, an inability to regulate reserves ?, Ringing Migr., 4,51-62.
- Davidson, N.C., 1984, How valid are flight range estimates for waders ?, Ringing Migr., 5,49-64.
- Davidson, N.C. and P.R. Evans, 1982, Mortality of Redshanks and Oystercatchers from starvation during severe weather, Bird Study, 29,183-188.
- Davidson, N.C., P.R. Evans and J.D. Utley, 1986, Geographical variation of protein reserves in birds, the pectoral muscle mass of Dunlin *Calidris alpina* in winter, J. Zool., London, 208,125 - 133.
- Evans, D.M., 1973, Seasonal variations in the body composition and nutrient of the Vole, *Microtus agrestis*, J. Anim. Ecol., 42,1-18.
- Evans, P.R. and P.C. Smith, 1975, Studies of shorebirds at Lindisfarne, Northumberland, 2. Fat and pectoral muscles as indicators of body condition in the Bat-tailed Godwit, Wildfowl, 26,64-76.
- Fogden, M.P.L. and P.M. Fogden, 1979, The role of fat and protein reserves in the annual cycle of the Grey-backed Camaroptera in Uganda (Aves: Sylviidae), J. Zool., Lon., 189, 233-258.
- Hanson, H.C., 1962, The dynamics of condition factors in Canada Geese and their relation to seasonal stress, Arct. Inst. N. Am. Techn. Pap., 12,1-68.
- Hayman, P., J. Marchant and T. Prater, 1986, Shorebird, an identification guide to the waders of the world, Helm, London, 412pp.
- Heroux, O., 1961, Climatic and temperature-induced changes in mammals, Rev. Can. Biol., 20,55-68.
- Kersten, M. and T. Piersma, 1983, Wader studies, in wader migration along the Atlantic coast of Morocco, March 1981, Kersten, M., T. Piesma, C. Smith and P. Zegers, (ed.), Texel, Netherland, Research Institute for Nature Management Report 83/20, 56 pp.
- King, J.R., 1972, Adaptation periodic fat storage by bird, Proc. Inst. Orn. Congr., 15,200-217.
- King, J.R. and L.R. Mewaldt, 1981, Variation of body weight in Gambel's White-crowned Sparrow in winter and spring, latitudinal and photoperiodic correlates, Auk, 98,752-764.
- Nolan, V., and E.D. Ketterson, 1983, An analysis of body mass, wing length, and visible fat deposits of Dark-eyed Juncos wintering at different latitudes, Wilson Bull., 95,603-620.
- Pienkowski, M.W. and P.R. Evans, 1984, Migratory behavior of shorebird in the western Palearctic, in shorebird, migration and foraging behavior, 73 -123, Burger, J. and B.L. Olla, (ed.), N.Y., Plenum Press, 327pp.
- Piersma, T., N.C. Davidson and P.R. Evans, 1984, Estimation of protein reserves of waders, the use and misuse of standard muscle volume, Wader Study Group Bull., 42,19-22.
- Prater, A.J., J.H. Marchant and J. Vuorinen, 1977, Guide to the identification and ageing of Holarctic wader, British Trust for Ornithology, Tring, 169 pp.
- Symonds, F.L., D.R. Langslow and M.W. Pienkowski, 1984, Movement of wintering shorebirds within the Firth of Forth, species difference in usage of an intertidal complex, Biol. Conserv., 28,187-215.