

조류의 젖산 및 말산수소이탈효소 아이소자임*

박 상 윤·김 창 한·조 등 현
(성균관대·이공대·생물학과)

Lactate and Malate Dehydrogenase Isozymes in Birds

Sang Yoon Park, Chang Han Kim and Dong Hyun Cho
(Dept. of Biology, Sung Kyun Kwan University)

(1972. 12. 4 수리)

ABSTRACT

Lactate and malate dehydrogenase isozymes in crude extracts of various tissues from 28 avian species were investigated by means of cellulose acetate electrophoresis. In a given species the presence of two types of the malate dehydrogenase isozymes could be revealed in somatic tissues; one was characterized by fast electrophoretic mobility, and the other by slow mobility. Although the bird lactate dehydrogenase isozymes existed in a variety of species-specific molecular forms, they seemed to show the same pattern within the same genus and family.

서 론

조류의 젖산수소이탈효소(LDH; lactate dehydrogenase)는 포유류의 그것과 마찬가지로 5개의 기본적인 isozyme 으로 구성되어 있는데 (Markert and Møller, 1959; Plageman *et al.*, 1960; Wieland *et al.*, 1959), 소와 닭의 H₄-LDH 를 hybridization 시켰을 때 3가지의 hybrid LDH 가 추가하여 나타나는 점으로 보아 자기 상당히 비슷한 subunit 로 구성되었음을 알 수 있다 (Chilson *et al.*, 1966). 그러나 조류의 LDH는 여러가지 점에서 포유류와는 다른데 특히 전기영동이동도가 느린 데에서 큰 차이를 발견할 수 있다 (Wilson *et al.*, 1964). 이같은 차이는 일차적으로 LDH isozyme 을 구성하는 subunit 의 물리·화학적인 성질에 기인하나 근본적으로는 진화과정에서 어떤 LDH

의 arche type 이 변화하여 온 데에 있다고 볼 수 있는데, 현재 isozyme 은 계통학적인 면에서 주목되고 있다 (Kamada, and Hori, 1970; Kaplan, 1970; Schoffeniels, 1971; Watts, 1968; Wilson *et al.*, 1964).

도태과정을 통하여 LDH isozyme 이 변천된 모습은 조류의 가슴근에서 잘 볼 수 있다 (Kaplan, 1964). 즉 제비와 같이 장시간 비행하는 조류의 가슴근에서는 심장형의 LDH isozyme 이 강하게 나타나는 반면 닭이나 꿩처럼 그리 잘 비행하지 않는 종에서는 근육형 LDH 가 우세하다 (Wilson *et al.*, 1963). 한편 생활습성에 적응된 LDH isozyme 을 오리에서 아주 잘 볼 수 있는데, 별로 비행할 필요가 없는 사육오리나 야생오리는 가슴근의 H 형 LDH 함량이 아주 낮으나 장시간 비행하는 야생오리는 H 형 LDH 함량이 높다 (Kaplan,

* 본 연구를 위한 연구비 일부는 1972년도 문교부 학술연구조성비에 의한 것이다.

1964). 이와 같은 현상은 제통학적인 유연관계에 별로 관계없이 나타난다 (Kaplan, 1964).

저자는 우리나라에서 서식하는 야생조류의 LDH 및 MDH isozyme 의 기본 pattern 을 조사하여 보려는 목적에서 본실험을 실시하였다.

실험재료 및 방법

LDH 및 MDH isozyme 분리는 cellulose acetate 전기영동법으로 하였으며 실험방법은 박·홍·조(1970) 및 박·조(1972)에 준하였다. 본 실험에서는 cellulose acetate strip 으로 celotate (Millipore, U.S.A.)와 separaphore III (Gelman, U.S.A.)를 사용하였는데 LDH 는 주로 celotate 를 써서 분리하였다. 실험하여 본 결과 celotate 는 separaphore III 보다 뛰어난 분리능력을 갖고 있었으나 prebuffering 시간이 길어지면 isozyme band 가 넓게 퍼지는 경향이 있었다. 따라서 prebuffering 시간을 15분으로 제한 하였다. celotate 가 갖고있는 이보다 더 큰 결결은 습기를 흡수하면 주글주글 하여지는 것이다. 이를 해결하려면 15분간 prebuffering 하는 사이에 약 12분간은 일단 buffer 에 적신 strip 을 깨끗한 유리판 사이에 끼워 무거운 것으로 눌러 편 뒤에 나머지 3분간을 다시 buffer 에 담갔다가 사용하면 좋다.

실험동물은 조류상을 통하여 포획한 수컷의 성체를 사용 하였는데 다음과 같은 2목 11과 21속의 28종을 택하였다.

Order Gallida (닭목)

Family Phasianidae (꿩과)

Phasianus colochicus (꿩)

Order Passerida (참새목)

Family Alaudidae (종다리과)

Alauda arvensis (종다리)

Family Oriolidae (피피리과)

Oriolus chinensis diffusus (피피리)

Family Corvidae (까마귀과)

Garrulus glandarius brandtii (어치)

Pica pica serica (까치)

Family Paridae (박새과)

Aegithalos caudatus caudatus (오목눈이)

Parus major waldiwostokensis (박새)

Parus major minor (한국박새)

Parus palustris hellmayri (쇠박새)

Parus varis varis (곤줄박이)

Family Pycnonotidae (직박구리과)

Hypsipetes amaurotis amaurotis (제주직박구리)

Hypsipetes amaurotis kensoni (직박구리)

Family Turdidae (지빠귀과)

Erithacus sibilans (올새)

Turdus chrysolaus chrysolaus (붉은배지빠귀)

Turdus obscurus (흰눈썹붉은배지빠귀)

Family Sylviidae (휘파람새과)

Cettia diphone borealis (휘파람새)

Family Sturnidae (찌르레기과)

Sturnus cineraceus (찌르레기)

Family Ploceidae (참새과)

Passer montanus orientalis (참새)

Family Fringillidae (멧새과)

Acanthis flammea flammea (홍방울새)

Calcarius lapponicus coloratus (긴발톱멧새)

Carduelis spinus (검은방울새)

Carpodacus roseus (양진이)

Emberiza elegans elegans (노랑턱멧새)

Emberiza rutila (표까참새)

Eophona migratoria migratoria (쇠밀화부리)

Fringilla montifringilla (되새)

Loxia curvirostris (솔갓새)

Pyrrhula pyrrhula (뫼장이새)

결 과

실험하여본 모든 조류에 있어서 MDH 는 2개의 isozyme 으로 구성되어 있었는데, 종에따른 차이나 같은 종에 있어서도 각 장기에 따른 변화를 별로 볼 수 없었다. MDH 의 대표적인 예로 검은방울새 뇌조직을 보였는데(Fig.1a) 다소간 효소활성도의 차이는 있으나 근본적으로 동일한 pattern 임을 알 수 있다. 단지 오목눈이 만은 독특하여 이동속도가 느린 isozyme 으로 구성되어 있어서 크게 다른 MDH isozyme pattern 을 보여 주었다(Fig. 1b).

MDH 와는 다르게 LDH 에서는 종이나 각 장기에 따른 차이가 크게 나타난다. Fig. 2는 콩팥의 LDH isozyme 을 보인 것이다. 흰눈썹붉은배지빠귀와 붉은배지빠귀에서는 3개의 LDH isozyme 을 볼 수 있으며, 찌르레기, 양진이, 피피리, 직박구리에서는 4개의 isozyme 이 나타난다. 그 외에는 모두 단일 isozyme

을 갖고 있다. 그런데 박새, 한국박새, 곤줄박이에서는 넓게 퍼진 단일 band가 나타나는 점으로 보아 몇 개의 isozyme으로 구성되어 있으나 분리가 잘 되지 않아 하나의 isozyme으로 보이는 듯 하다.

Fig. 3~6은 간장과 심장의 LDH isozyme이다. 오목눈이, 쇠박새, 손갓새, 멧장어새의 LDH isozyme은 간장과 심장의 pattern이 동일한 단일 band로 나타났으나 나머지 종에서는 pattern이 서로 다르다. 꿩의 간장에서는 LDH isozyme이 넓게 퍼진 단일 band로 구성되어 있으나 심장에서는 2개의 isozyme이 나타났다. 꼬꼬리의 심장과 간장에서는 모두 5개의 LDH isozyme을 볼 수 있는데 간장에서는 5개 isozyme이 비교적 고르게 나타났으나 심장에서는 LDH4가 우세한 점이 특징적이다. 직박구리에서는 LDH1만이 심장에서 보이나 간장에서는 LDH5쪽이 강하게 나타나는 5개의 isozyme이 확인되었다. 비슷하게 흰눈썹붉은배지빠귀의 심장도 LDH1만을 볼 수 있었으나 간장에서는 LDH5쪽이 우세한 4개의 isozyme이 나타나는데 LDH1을 볼 수 없었다. 찌르레기에서도 흰눈썹붉은배지빠귀와 같은 LDH isozyme pattern이 나타난다. 참새의 심장은 LDH5를 강하게 보여주는 반면 간장에서는 LDH2, 3, 4 위치에 넓은 band가 나타났다. 참새의 다른 조직에서 보이는 LDH isozyme의 pattern에 견주어 보아서(Fig. 10) 간장에서는 LDH 2, 3, 4가 우세함을 추측할 수 있게 된다.

Fig. 7--10은 조류의 가슴근과 대퇴근의 LDH isozyme을 보인 것이다. 꿩, 까치, 오목눈이, 쇠박새, 종다리, 꼬꼬리, 곤줄박이, 휘파람새, 찌르레기, 긴발톱멧새, 홍방울새, 양진이, 지빠귀의 가슴근과 대퇴근의 LDH isozyme은 근본적으로 같다고 볼 수 있다.

그러나 어치, 울새, 흰눈썹붉은배지빠귀, 노랑턱멧새, 솔갓새, 한국박새의 가슴근과 대퇴근의 LDH isozyme pattern은 다소간의 차이는 있으나 전반적인 것을 알 수 있다. 종다리의 대퇴근에서는 3개의 isozyme을 볼 수 있으며, 꼬꼬리는 가슴근과 대퇴근 모두 LDH 5 쪽이 우세한 5개의 isozyme으로 구성되어 있다. 찌르레기 역시 꼬꼬리와 유사한 LDH isozyme을 보여주는데, 울새에서는 가슴근과 대퇴근에서 각기 3개와 2개의 isozyme이 나타난다. 붉은배지빠귀는 가슴근에서 3개, 대퇴근에서는 5개의 LDH isozyme을 나타내는데, 흰눈썹붉은배지빠귀의 가슴근은 4개 isozyme으로 구성되어 있는 반면 대퇴근에서는 2개의 band만이 보이는 점이 틀리다. 한편 참새

의 대퇴근은 LDH5 쪽이 우세한 4개의 LDH isozyme을 가지고 있는데 가슴근에서는 4개의 isozyme이 고르게 나타난다.

고 찰

콩팥의 LDH isozyme은 간은 속에서 거의 같은 pattern을 보여주는데, 멧새과에서는 속이 틀리더라도 양진이를 제외하면 비슷한 pattern을 나타낸다. 오목눈이가 예외이긴 하나 Parus 속의 LDH isozyme pattern 역시 서로 비슷하다. 이러한 현상은 같은 속의 붉은배지빠귀와 흰눈썹붉은배지빠귀에서 아주 뚜렷하여 이 둘의 LDH isozyme pattern은 꼭 같다고 볼 수 있다. 콩팥에 있어서 여러개의 LDH isozyme으로 구성되어 있는 경우 흔히 LDH5쪽(+측)의 isozyme이 강하게 나타나는데 꼬꼬리만은 정반대 되는 pattern을 가지고 있다. Lindsay(1963)는 닭의 콩팥에서 꼬꼬리와 비슷한, 즉 LDH1, LDH2, LDH3의 3개 band를 확인하였는데 같은 닭의 콩팥으로부터 Crossille(1964)는 5개의 isozyme을 발견 하였다.

비둘기의 콩팥에서는 5개의 LDH isozyme을 볼 수 있는데(Zinkham et al., 1966), 개체에 따라 커다란 차이를 나타냈다. Zinkham et al.(1966)에 따르면 LDH isozyme pattern에 따라 비둘기를 대략 다음과 같은 3군으로 나눌 수 있다. 즉 class I의 콩팥에서는 LDH 1과 2가 강하게 나타났고, class II에서는 LDH 4, 3, 5, 2의 순으로 강하며 class III는 LDH5가 우세하다. 따라서 같은 종에 있어서도 유전적인 특징에 따라 LDH isozyme pattern이 틀림을 알 수 있다. 그 위에 전기영동법의 차이에 따라서도 LDH isozyme은 서로 다르게 나타나므로 연구자 마다 약간씩 다른 LDH isozyme 형을 보고하는 일은 흔히 있다.

심장과 간장의 LDH isozyme pattern을 서로 비교하여 보면 대체로 조류를 3군으로 나누어 생각할 수 있다. 제1군은 심장의 LDH isozyme이 (+)측으로 치우치고, 간장의 isozyme은 반대로 (-)측으로 치진 경우로 대부분의 조류가 이에 속한다. 제2군은 심장과 간장의 LDH isozyme pattern이 같은 경우이며 제3군은 심장의 isozyme이 (-)측으로 치지고 간장이 (+)측으로 치우친 경우로서 제1군의 정반대되는 pattern을 보이는 군이다. Lindsay(1963)에 따르면 닭의 심장에서는 LDH 5, 4, 3가 나타나는데 간장에서는 LDH 1, 2, 3, 4를 볼 수 있어서 서로 반대되는 pattern임을 알 수 있는데 제1군에 속한다고 할 수 있다. 비

들기에서는 대체적으로 간장과 심장의 LDH isozyme pattern이 동일 하였으므로(Zinkham et al., 1966) 제 2군에 속한다고 볼 수 있다.

한편 꿩의 간장과 심장에서 5개의 LDH isozyme이 발견되었으며(Markert and sladen, 1966) *Passer domesticus*의 심장에서도 5개의 isozyme이 나타났다(Farrar and Bush, 1969). 본 실험결과 참새에서는 4개의 LDH isozyme이 보였는데 Rose and Wilson (1966)은 *Pavo cristatus*에서 5개 LDH isozyme을 확인하였다. Baker et al.(1966)은 꿩의 심장과 간장에서 몇개의 강한 LDH isozyme을 확인할 수 있었으나 본 실험에서는 심장에서 2개 간장에서는 넓게 퍼진 단일 isozyme band가 나타났다.

이처럼 다른 연구자들의 실험결과와 차이가 보이는 것은 전기영동법의 서로다른 해상력에 기인 된다고 할 수 있다. 평에서는 H형 LDH 함량이 1% 미만이고 찌르레기에서는 35% 정도가 되는데(Kaplan, 1964) cellulose acetate 전기영동으로 찌르레기에서는 몇개의 isozyme band가 나타나지만 꿩에서는 잘 확인되지 않는다. 따라서 해상력이 다른 전기영동법에 비하여 비교적 낮은 cellulose acetate 전기영동의 경우 H형 LDH와 M형 LDH의 비가 1에 가까울 수록 isozyme이 뚜렷이 나타난다고 하겠다.

Wilson et al. (1963)은 *Sturnus vulgaris*의 가슴근에서 5개의 LDH isozyme을 확인하였는데 이는 본 실험에서 같은 속의 찌르레기에서 LDH isozyme이 5개의 band로 나타난 점과 잘 일치된다. 한편 닭의 가슴근에서는 LDH5만이 나타났으며(Wilson et al., 1963) 꿩의 가슴근에서는 LDH5, 4의 둘이 보고 되었는데(Baker et al., 1966) 본 실험결과 꿩에서 단일 isozyme이 나타난 사실과 대략 잘 일치된다. 그러나 Baker et al. (1966)은 꿩의 대퇴근에서 5개의 LDH isozyme을 보았다고 하였는데 본 실험에서는 단일 band만이 나타난 점이 틀린다. *Passer domesticus*의 가슴근에서 LDH 1, 2, 3의 셋이 나타난다고 하였는데(Farrar and Bush, 1969) 참새의 가슴근에서는 4개의 isozyme을 확인할 수 있었다.

그 외에 Wilson et al. (1963)은 *Archilocus colubris*의 가슴근에서 LDH 1~4의 4 isozyme을, *Anas platyrhynchos*의 가슴근에서는 LDH 2~5의 넷을 확인하였고 *podiceps auritus*의 가슴근에서는 LDH 3~5의 세 isozyme을 발견하였다. 또한 *Oceanitus oceanitus*의 가슴근에서는 LDH 1~2의 둘을 보고 하

였다(Wilson et al., 1966). 이처럼 가슴근의 LDH isozyme은 조류전체로 보아 H형이나 M형 어느 한 쪽에 치우치지 않고 광범하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 본 실험에서도 잘 나타나는데 특히 가슴근과 대퇴근의 LDH isozyme pattern이 서로 다른 경우를 흔히 볼 수 있다.

이같은 다양성의 원인을 크게 둘로 압축하여 생각할 수 있다. 하나는 생활습성에 적응된 결과에 기인 된다고 볼 수 있으며(Kaplan, 1964) 다른 하나는 유전적인 면에서 그 원인을 찾을 수 있다 (Zinkham et al., 1966). 따라서 위의 두가지 요인이 조류의 LDH isozyme 형성에 어떻게 작용하였는가 하는 문제를 면밀히 검토하여볼 필요가 있으며 이는 앞으로 밝혀져야 할 과제인 것이다.

적 요

Cellulose acetate 전기영동법으로 조류 28종의 젓산및 말산수소이탈효소 아이소자임을 분리하였다. 실험하여본 중에 있어서 말산수소이탈효소는 2가지형이 있음을 발견하였는데, 하나는 전기영동 이동도가 빠른 것이 독특하였고 다른 하나는 이동도가 느렸다. 조류의 젓산수소이탈효소 아이소자임은 종에 따라 커다란 다양성을 보여 주었으나 같은 속이나 과에 속하는 종 사이에서 아이소자임 pattern은 같은 것을 알 수 있었다.

문 헌

- Baker, C. M. A., C. Manwell, R. F. Labisky and J. A. Harper, 1966. Molecular genetics of avian proteins V. Egg, blood and tissue proteins of the ring-necked pheasant. *Phasianus colchicus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 17 : 467—499.
- Chilson, O., L. A. Costello and N. O. Kaplan, 1966. Reversible inactivation of dehydrogenases. *J. Biol. Chem* 241 : 2431—2445.
- Croisille, Y., 1964. Formes multimoléculaires de la dehydrogénase latique chez le poulet: démonstration de l'existence de formes transitoires chez l'embryon. C. r. heb. Séanc. *Acad. Sci.* 258 : 2214—2217.
- Farrar, W. W. and F. M. Bush, 1969. Isozymic structure and pyruvate inhibition of lactate dehydrogenase of ventricle, pectoralis muscle

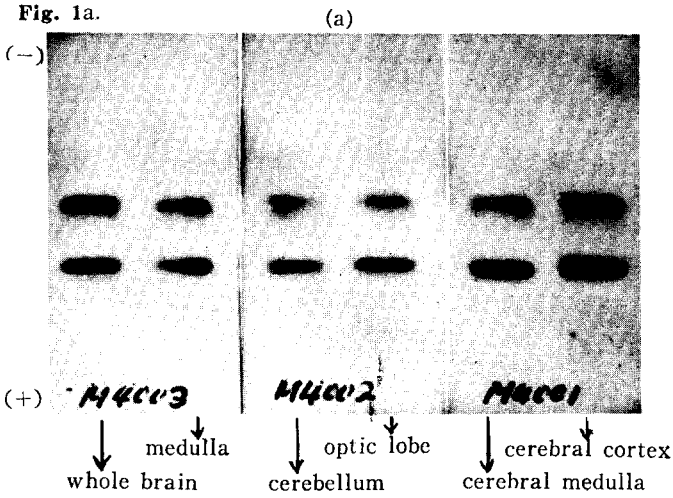
- and cerebrum, and total LDH activity of cerebrum during morphogenesis of the house sparrow, *Passer domesticus*. *Comp. Biochem. Physiol.* **29** : 89—109.
- Kamada, T. and S.H. Hori, 1970. A phylogenetic study of animal glucose-6-phosphate dehydrogenase. *Japan. J. Genetics* **45** : 319—339.
- Kaplan, N.O., 1964. Lactate dehydrogenase-structure and function. *Brookhaven Symp. Biol.* **17** : 131—153.
- Kaplan, N.O., 1970. Evolution of pyridine nucleotide dehydrogenases. *Miami Winter Symp.* **1** : 66—88.
- Lindsay, D.T., 1963. Isozymic patterns and properties of lactic dehydrogenase from developing tissues of the chicken. *J. Exp. Zool* **152** : 75—89.
- Markert, C.L. and F. Møller, 1959. Multiple forms of enzymes: tissue, ontogenic, and species specific patterns. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **45** : 753—763.
- Markert, C.L. and W.J.L. Sladen, 1966. Stability of lactate dehydrogenase isozyme patterns in penguins. *Nature* **210** : 948—949.
- Plagemann, P.G.W., K.F. Gregory and F. Wróblewski, 1960. The electrophoretically distinct forms of mammalian lactic dehydrogenase. I. Distribution of lactic dehydrogenases in rabbit and human tissues. *J. Biol. Chem.* **235** : 2282—2287.
- Rose, R.G. and A.C. Wilson, 1966. Peafowl lactate dehydrogenase: problem of isozyme identification. *Science* **153** : 1411—1414.
- Schoffeniels, E., 1971. Adaptation at molecular scale, in E.Schoffeniels(ed.) *Biochemical Evolution and the Origin of Life*. pp.314—335, North-Holland, Amsterdam, Holland.
- Watts, D.C., 1968. Variation in enzyme structure and function; the guide lines of evolution. *Adv. in Comp. Physiol. Biochem.* **3** : 1—114.
- Wieland, T., G. Pfeleiderer, J. Haupt and W. Wörner, 1959. Über die Verschiedenheit der Milchsäuredehydrogenasen: LV. Quantitative Ermittlung einiger Enzymverteilungsmuster. *Biochem. Z.* **332** : 1—10.
- Wilson, A., R.D. Cahn and N.O. Kaplan, 1963. Function of the two forms of lactic dehydrogenase in the breast muscle of birds. *Nature* **197** : 331—334.
- Wilson, A.C., N.O. Kaplan, L. Levlne, A. Pesce, M. Reichlin and W.S. Allison, 1964. Evolution of lactic dehydrogenases. *Fed. Proc.* **23** : 1258—1266.
- Zinkham, W.H., L. Kupchyk, A. Blanco and H. Isensee, 1966. A variant of lactate dehydrogenase in somatic tissues of pigeons: physicochemical properties and genetic control. *J. Exp. Zool.* **162** : 45—56.
- 박상운·홍사육·조동현, 1971. 척추동물의 isozyme 에 관한 비교연구 I. 수종 동물의 뇌조직내 lactate dehydrogenase 에 관하여. *성태논문집* **16**(인쇄중)
- 박상운·조동현, 1972. Cellulose Acetate 전기영동 에 의한 수소이탈효소 Isozyme 의 분리. *동학지* **15** : 101—104.

Explanation of Figures

Fig. 1a. Malate dehydrogenase isozymes in central nervous tissues of *Carduelis spinus*. Electrophoresed for 40 minutes on Separaphore III strips with pH 8.6 barbiturate buffer (ionic strength 0.075) at constant current of 0.8mA/cm. width.

Fig. 1b. Two types of avian malate dehydrogenases. Most birds showed type I isozyme. Type II isozyme was only found in tissues of *Carpodacus roseus*.

- Fig. 2.** Lactate dehydrogenase isozymes in kidney of birds. Buffer was pH 8.6 barbiturate, ionic strength 0.075; cellulose acetate electrophoresis for 80 min. at 0.8 mA/cm. width. Anode is the below. Arrow denotes origin. 1, *Turdus obscurus*; 2, *Turdus chrysolaus chrysolaus*; 3, *Sturnus cineraceus*; 4, *Calcarius lapponicus*; 5, *Loxia curvirostris*; 6, *Carpodacus roseus*; 7, *Pyrrhula pyrrhula*; 8, *Phasianus colchicus*; 9, *Oriolus chinensis diffusus*; 10, *Garrulus glandarius brandtii*; 11, *Pica pica serica*; 12, *Aegithalos caudatus caudatus*; 13, *Parus major waldivostokensis*; 14, *Parus major minor*; 15, *Parus varis varis*; 16, *Parus palustris hellmayri*; 17, *Hypsipetes amaurotis kensoni*.
- Fig. 3.** Lactate dehydrogenase isozymes of heart (H) and liver (L) homogenates. Celotape strip. was run for 80 min. Left to right; *Phasianus colchicus*, *Alauda arvensis*, *Oriolus chinensis diffusus*, *Garrulus glandarius brandtii*, and *Pica pica serica*.
- Fig. 4.** Lactate dehydrogenase isozymes of heart (H) and liver (L) tissues. Left to right; *Aegithalos caudatus caudatus*, *Parus major waldivostokensis*, *Parus palustris hellmayri*, *Parus varia varis*, and *Hypsipetes amaurotis kensoni*.
- Fig. 5.** Heart (H) and live (L) lactate dehydrogenase isozymes of birds. Left to right; *Erithacus sibilans*, *Turdus chrysolaus chrysolaus*, *Turdus obscurus*, *Sturnus cineraceus*, and *Passer montanus orientalis*.
- Fig. 6.** Lactate dehydrogenase isozymes of heart (H) and liver (L) homogenates. Left to right; *Acanthis flammea flammea*, *Calcarius lapponicus coloratus*, *Carpodacus roseus*, *Loxia curvirostris*, and *Pyrrhula pyrrhula*.
- Fig. 7.** Lactate dehydrogenase isozymes in breast (B) and thigh (T) muscle of birds. Left to right; *Phasianus colchicus*, *Pica pica serica*, *Aegithalos caudatus caudatus*, and *Parus palustris hellmayri*.
- Fig. 8.** Lactate dehydrogenase isozymes in breast (B) and thigh (T) muscles of birds. Electrophoresed for 120 minutes on the Celotape strips. Left to right; *Alauda arvensis*, *Oriolus chinensis diffusus*, *Garrulus glandarius brandtii*, *Parus varis varis* and *Erithacus sibilans*.
- Fig. 9.** Lactate dehydrogenase isozymes in breast (B) and thigh (T) muscles of birds. Electrophoresed for 120 minutes on the Celotape strips. Left to right; *Turdus chrysolaus chrysolaus*, *Turdus obscurus*, *Cettia diphone borealis*, *Sturnus cineraceus*, *Calcarius lapponicus coloratus*, and *Emberiza elegans elegans*.
- Fig. 10.** Lactate dehydrogenase isozymes in breast (B) and thigh (T) muscles. Celotape strips were run for 80 minutes at constant current of 0.8mA/cm. width. Left to right; *Passer montanus orientalis*, *Acanthis flammea flammea*, *Carpodacus roseus*, and *Loxia curvirostris*.



← Origin →

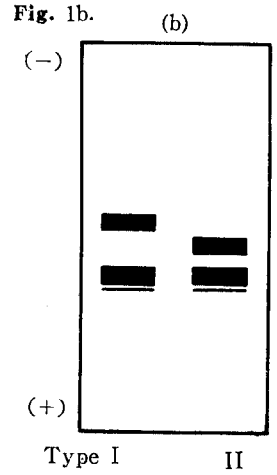


Fig. 2.

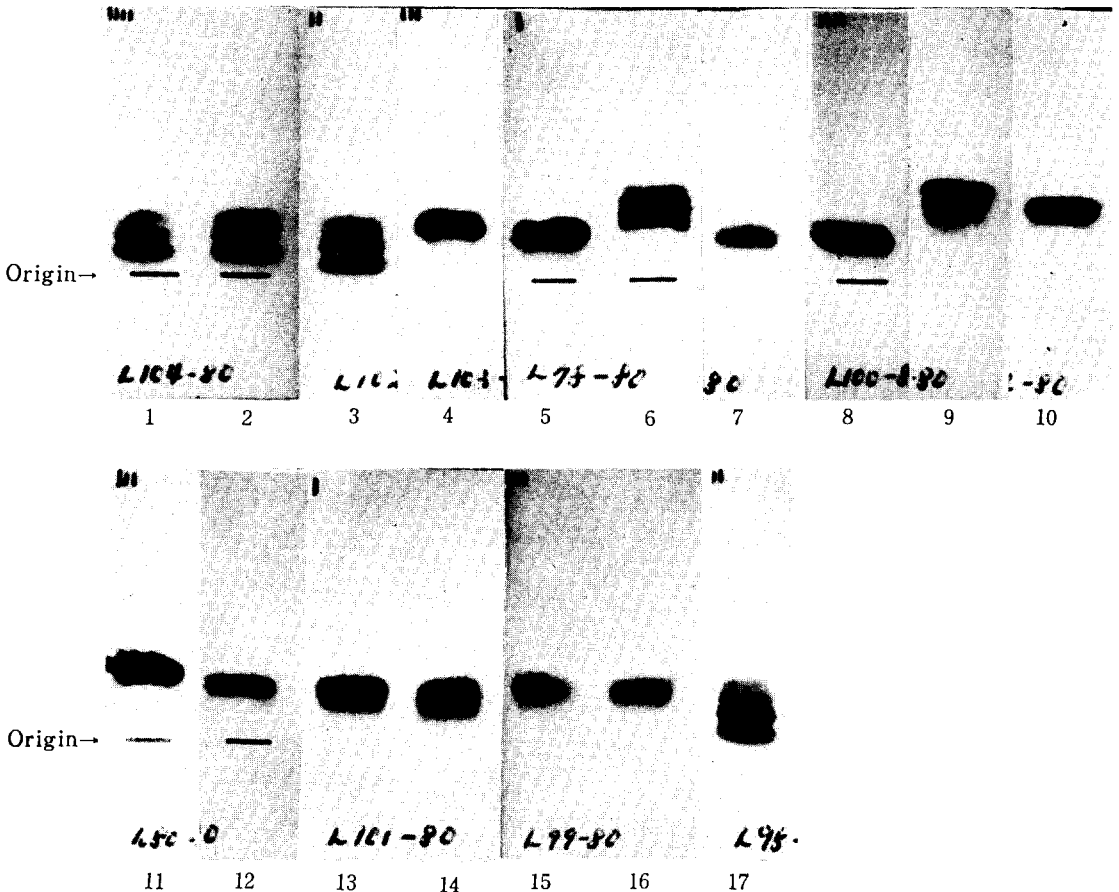


Fig. 3.

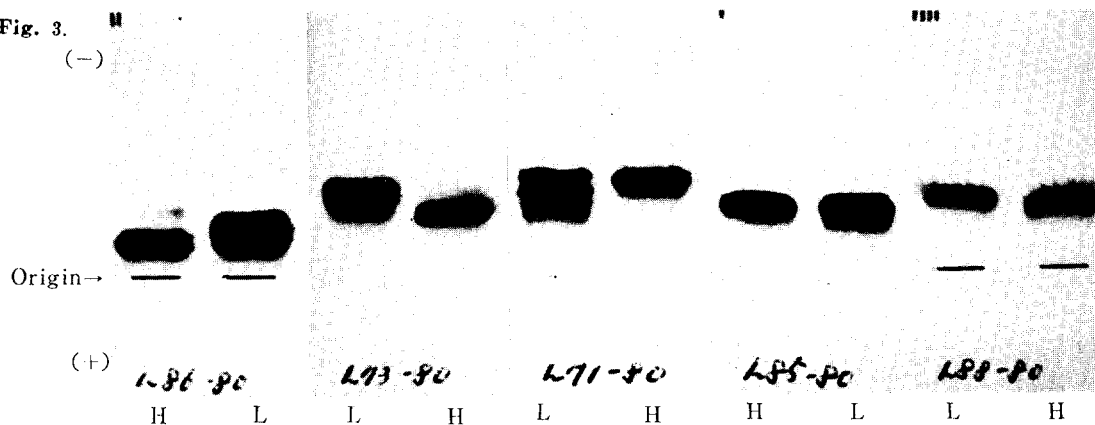


Fig. 4.

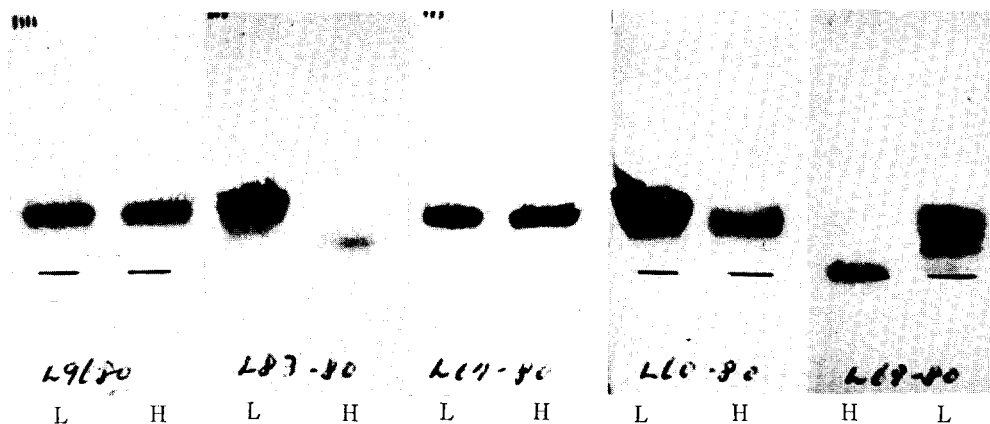


Fig. 5.

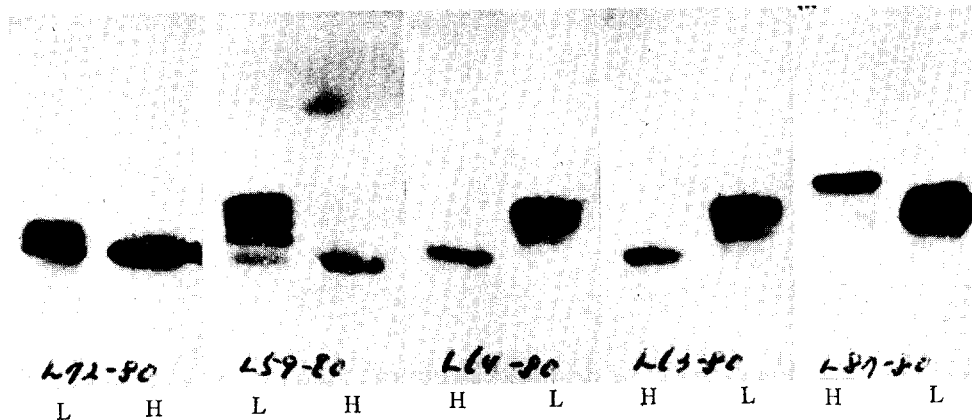


Fig. 6.

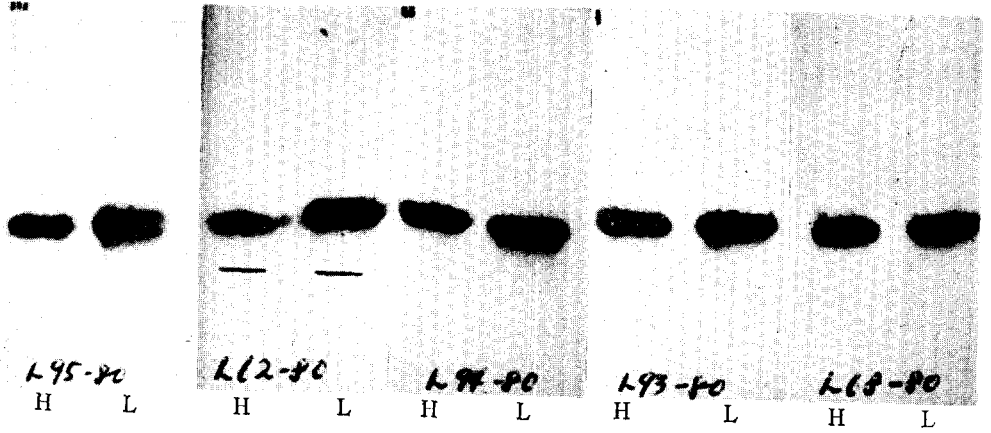


Fig. 7.

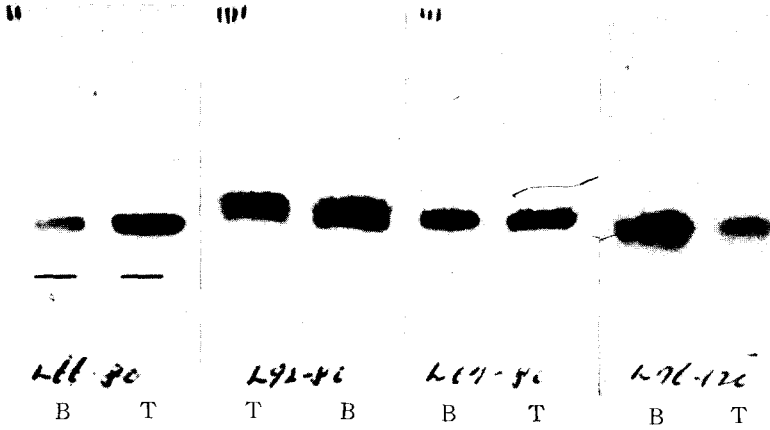


Fig. 8.



Fig. 9.

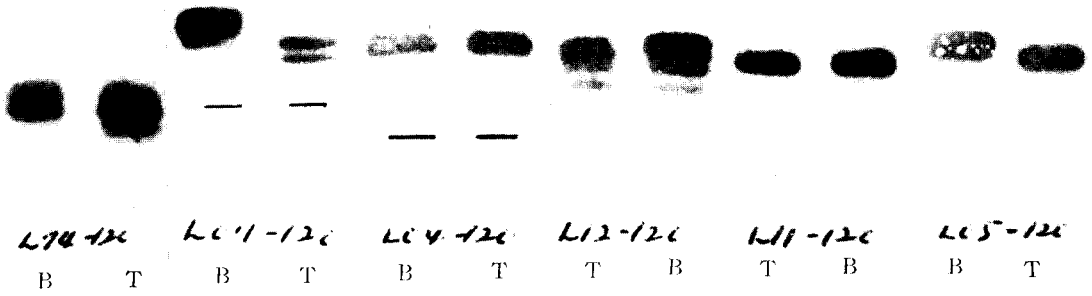


Fig. 10.

