

노랑턱멧새(*Emberiza elegans*)의 Song에 의한 종 인식

성하철 · 박시룡

한국교원대학교 생물교육과

본 연구는 1992년 3월에서 1993년 5월까지 충북 청원군 강내면 다락리 야산에 서식하는 노랑턱멧새(*Emberiza elegans*) 집단을 대상으로 이루어졌다. 종 인식을 위한 의미있는 song 특징을 알아보기 위해 같은 과(科)에 속하는 붉은뺨멧새(*Emberiza fucata*)와 쑥새(*Emberiza rustica*)의 'stereotyped song'을 분석하였다. 또한 세력권을 형성한 5개체를 대상으로 song에 기초한 playback 실험을 통하여 종 인식 능력을 알아보았다. 스피커에 가장 가까이 날라온 거리와 이 거리에서 머문 시간을 측정된 결과 붉은뺨멧새의 song에는 반응이 없었으나 쑥새의 song에는 의미있는 반응을 보였다. 따라서 노랑턱멧새와 두 종에 대한 song 특징의 분석을 토대로 종간 인식의 가능성에 대하여 논의하였다.

KEY WORDS: Species recognition, Response, Song features, *Emberiza elegans*.

새들의 종 인식은 자기 종의 song을 배우고 주변의 다른 많은 종의 song과 구별하는 과정에 의해 형성된다. Becker(1982)는 광범위한 문헌 연구를 통해 종 인식을 위한 이상적인 song 특징은 개체내와 개체간에 변이의 정도가 아주 작아 다른 종의 song과 겹치지 않아야 한다(Marler, 1960; Falls, 1963)고 주장하였다. 그러나 그 이후의 연구결과에 의하면 변이가 다양한 특징도 종인식에 사용되는 것으로 밝혀졌다(Nelson, 1988; Dabelsteen and Pedersen, 1985, 1992). 그밖에도 종인식은 지역적인 가청 공간내에서 자기종의 song과 동소종의 song과의 관계가 강조되고 있는데 무엇보다 다른 종의 song 특징의 변이와 이들 변이의 집중 경향이 종 인식의 단서가 되고있다(Marler, 1960; Emlen, 1972; Bremond, 1976, 1978; Dabelsteen and Pedersen, 1985; Nelson, 1989).

따라서 본 연구에서는 노랑턱멧새(*Emberiza elegans*)를 대상으로 같은 과(科)에 속하는 붉은뺨멧새(*Emberiza fucata*)와 쑥새(*Emberiza rustica*)의 'stereotyped song'을 비교하고, song에 기초한 playback 실험을 통

하여 종 인식을 위한 음성학적 기초를 제공하고 자 한다.

재료 및 방법

1. song 녹음과 sonagram 분석

본 연구는 1992년 3월에서 1993년 5월까지 충북 청원군 강내면 다락리 야산에 서식하는 노랑턱멧새 집단을 대상으로 이루어 졌다. 각 세력권 별 개체의 stereotyped song의 분석과 종 인식 능력에 대한 playback 실험을 위해 일련의 song을 녹음하였다. 노랑턱멧새는 10개체 548개 songs을 녹음하였고 같은 지역에서 서식처가 다른 붉은뺨멧새는 7개체 145개 songs과 경기도 광릉지역에서 쑥새 5개체 110개 songs을 녹음하였다. 녹음은 Uher 4000 tape recorder, Audio technica AT 815a condenser microphone, 직경 50cm 집음기를 이용하여 오전 7시 부터 3-4시간 동안 이루어 졌고, 소리 분석은 Sona Graph(Kay Elemetrics DSP Sona-Graph Model 5500)을 이용하였다.

종간 song의 변이성을 비교하기 위해 개체당

45-85개 songs을 선택한 후 개체내와 개체간 song 특징을 다음과 같이 3가지 범주로 나누어 양적인 변이성을 측정하였다(Fig. 1). 1) 구조적인 특징: song당 syllable수 2) 시간적 특징: song duration과 interval, syllable duration과 inter-syllable duration 3) 주파수 특징: highest frequency, lowest frequency. 이와같은 song 특징에 대한 중간 song의 유사성과 차이점을 알아보기 위해 평균 값과 표준편차를 측정하였고, 개체간 변이의 지

표(Hutchison *et al.*, 1968)로서 CV(the coefficient of variation)값, 즉 $(SD \times 100) / \text{mean}$ 을 사용하여 Table 1에 나타냈다. 이때 중간 차이 여부를 비교하기 위해 측정된 7개의 song 특징을 이용하여 canonical discriminant analysis를 실시하였다.

2. 종 인식 실험

실험 tape 준비: 실험용 자극 song은 소리의 질을 고려하여 울고 있는 개체에 최대한 접근(10

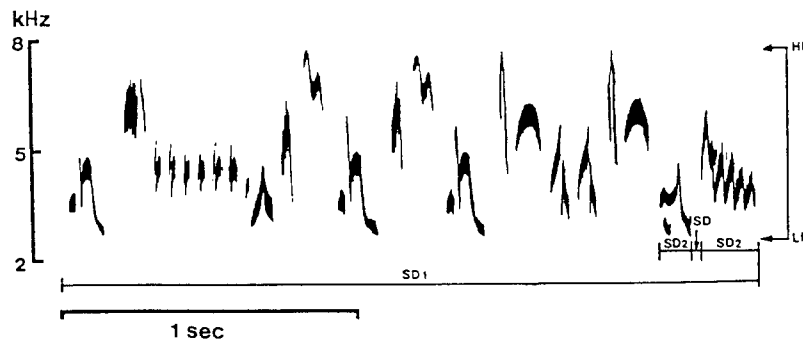


Fig. 1. Example of a Yellow-throated Bunting song showing variables used in analysis. Variables measured are number of syllables per song; SD1 (song duration); SD2 (syllable duration); song interval; ISD (inter-syllable duration); HF (highest frequency); LF (lowest frequency).

Table 1. Comparison of song features of Yellow-throated, Rustic, and Gray-headed Bunting by oneway ANOVA.

Song Feature	Yellow-throated (N=10)			Rustic (N=5)			Gray-headed (N=7)			F df=2,560	P
	Mean	SD	*C.V.	Mean	SD	C.V.	Mean	SD	C.V.		
No.											
Syllables	22.0	4.00	18	21.3	13.1	62	11.0	2.05	18	85.64	< 0.0001
Song duration(s)	2.56	0.39	15	3.10	1.86	60	1.62	0.25	15	61.08	< 0.0001
Song interval(s)	2.60	1.70	56	1.61	1.79	112	4.63	1.66	35	256.50	< 0.0001
Highest frequency(KHz)	7.72	0.78	5	7.26	0.36	5	8.55	0.60	7	165.45	< 0.0001
Lowest frequency(KHz)	1.93	0.28	14	1.87	0.24	12	1.77	0.26	14	15.16	< 0.0001
Syllable duration(s)	0.09	0.03	33	0.10	0.06	60	0.09	0.07	85	2.43	NS
Inter-syllable duration(s)	0.03	0.02	66	0.06	0.08	130	0.08	0.09	119	29.55	< 0.0001

*Coefficient of variation (C.V.)= $SD \times 100 / \text{mean}$.

m이내)하여 녹음하였고 녹음된 song중에서 주위 소음이 배제된 song을 선택하였다. 이때 선택된 song은 각 종의 repertoire중 연속된 일련의 자연 song으로 3분간 녹음되어 있다(Fig. 2).

실험절차: 새력권을 형성하는 새는 낮은 침입자에 대해 새력권의 경계지역보다 중심에서 보다 강력하게 반응하는 중심-경계효과 경향이 있는 것으로 보고되었다(Falls, 1982). 따라서 본 연구에서는 노랑턱멧새 5개체를 대상으로 각 개체의 새력권 중심 가까이에서 playback실험을 실시하였다. 실험은 흐리거나 비오는 날과 바람이 많은 날을 제외하고 아침 7시 30분 부터 10시 30분 사이에 실시되었다. 실험에 쓰인 장비는 Sony TCM-5000EV cassette recorder와 스피커를 이용했다. 스피커는 소리의 확산을 위해 지상에서 1.5 m 위치에 설치했고 스피커 volume은 다른 개체가 내는 음압과 유사하도록 1 m 전방에서 90 dB을 유지하였다. 실험은 대상 개체가 40 m이내로 접근하였을 때 실시하였고, 하루에 1장소에서 연속 2일간 실시하였다. 첫날은 대조군(노랑턱멧새)을 가지고 실시하였고 둘째날은 실험군을 가지고 무작위(쑥새 또는 붉

은뺨멧새)로 실시하였다. 이때 반응행동이 보이는 경우 15분간의 침묵시간을 두고 다음 song을 playback시켰고 보이지 않는 경우 5분후에 실시하였다. 대상 개체의 친숙함을 제거시키기 위해 같은 날 두번 실험하지 않았다(Simpson, 1984). playback실험에는 3인이 함께 참여하여 새의 반응 행동을 관찰하였고 실험 테이프와 녹음기를 조작하였다.

3. 반응 분석

예비 실험에서 노랑턱멧새는 song playback에 아주 빠르게 반응하고 스피커 가까이에서 잘 접근하였다. 따라서 다른 여러가지 반응(예, song rate)과 비교하여 접근 행동이 강하고 일정하게 나타나며, 뚜렷하고 쉽게 측정할 수 있으므로 다음과 같이 2가지 행동패턴을 측정하였다.

- 1) 스피커에 접근한 최소거리(m): 3분간 실험하는 동안 스피커에 접근한 최소거리
- 2) 스피커 가까이에서 머문시간(sec): 스피커를 중심으로 반경 10m이내에서 머문시간 위의 2가지 행동패턴에 대한 측정치는 막대그래프를 이용하여 나타냈고 통계적인 분석은 비모

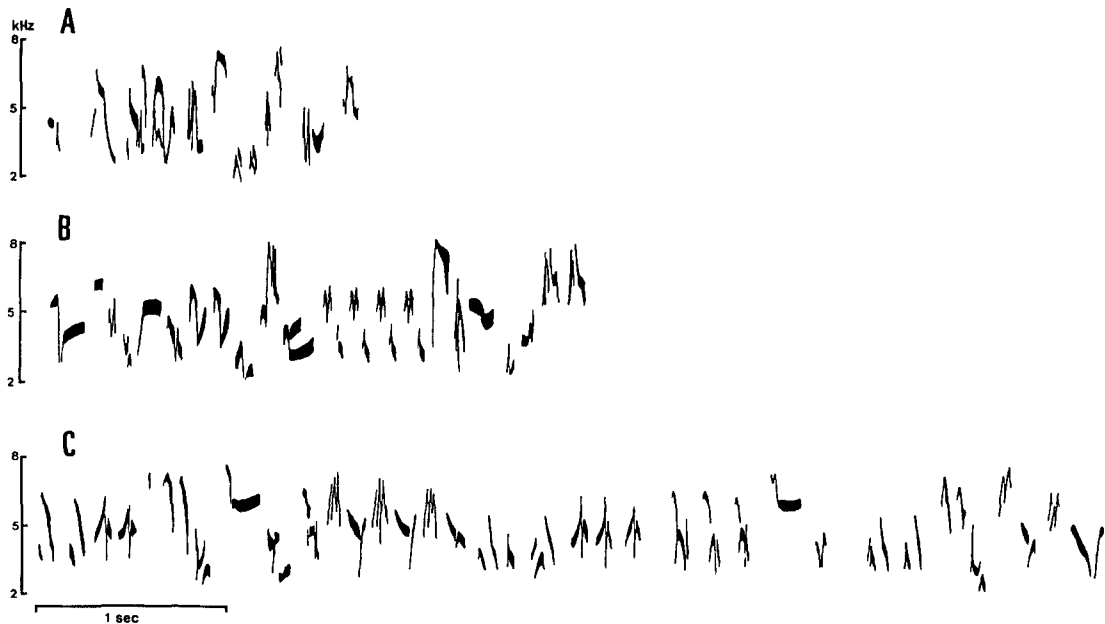


Fig. 2. Sonagrams of representative examples of the 3 species songs used in the playback experiments of species discrimination. A. Gray-headed Bunting. B. Yellow-throated Bunting. C. Rustic Bunting.

수 통계인 Willcoxon분석(Siegel, 1956)을 이용하였다.

결과

1. 종간 song 비교

노랑턱멧새 10개체, 쭈새 5개체, 붉은뺨멧새 7개체 각각 64개 songs을 대상으로 one way anova 분석을 실시하여 song 특징의 다양성과 종간 차이를 비교하였다(Table 1). syllable duration을 제외한 모든 song 특징에 있어서 3종 사이에 유의미한 차이가 나타났다. 그리고 종간 변이계수(CV값)를 비교할때 노랑턱멧새는 붉은뺨멧새와 유사하게 song당 syllable수, song duration, highest frequency, lowest frequency의 변이계수가 20보다 낮게 나타났다. 이에 비해 쭈새 song의 경우 주파수 특징을 제외한 모든 song 특징이 높게 나타나 개체간 변이가 타종에 비해 다양함을 보여주고 있다. 또한 discriminant function analysis을 실시하여 5개의 의미있는 song 특징에 대한 function 1과 function 2의 표준화 판별함수계수(standardized canonical discriminant function coefficients)를 산출하였다(Table 2). 그리고 이 값을 이용한 정확한 종에 대한 song의 판별력은 89%로 나타났으며, 종별 판별 점수를 결합하여 song의 분포도를 그렸다(Fig.

Table 2. Standardized canonical discriminant function coefficients from three species' songs

	Discriminant function*	
	1	2
Eigenvalue	3.1605	.5736
% of variance	84.64	15.36
Song duration	.06674	-.95543
Song interval	.58142	-.15506
Highest frequency	.82063	.28815
Lowest frequency	-.12178	.80892
No. syllables	-.50481	.82995

* Two Functions were significant at $P < 0.0001$.

3). 노랑턱멧새는 붉은뺨멧새와 차이가 있고, 쭈새와 많은 중복이 있으며, 쭈새의 song에 잘못 판단할 확률은 9.4%로 나타났다.

2. 종 인식 실험

이 실험은 노랑턱멧새가 자신의 song과 타종의 song을 구별할 수 있는가를 알아보기 위해 계획되었다. 실험결과 노랑턱멧새 5개체는 모두 쭈새의 song에는 반응하였으나, 붉은뺨멧새의 song에는 전혀 반응하지 않았고, 또한 노랑턱멧새와 쭈새 song에 대한 반응정도를 비교할때 유의미한 차이는 없었다(Fig. 4: wilcoxon matched-pairs signed-ranks test, $N=5$, $p < 0.1380$). 이 실험결과로부터 노랑턱멧새는 자신의 song과 붉은뺨멧새의 song을 확실히 구별하나 쭈새의 song은 구별하지 못하는 것으로 나타났다.

고찰

본 연구의 결과는 3종 모두 유사한 song 구조를 이루고 있고, syllable의 길이와 syllable간

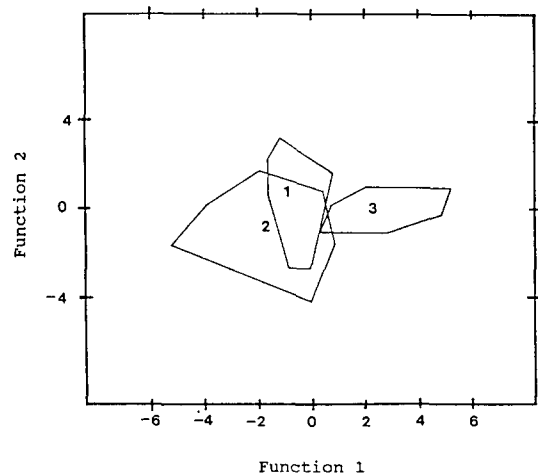


Fig. 3. Polygons of the two discriminant functions derived from five acoustic variables (Table 3). Numbers indicate the centroids for each species. 1 = Yellow-throated Bunting, 2 = Rustic Bunting, 3 = Gray-headed Bunting.

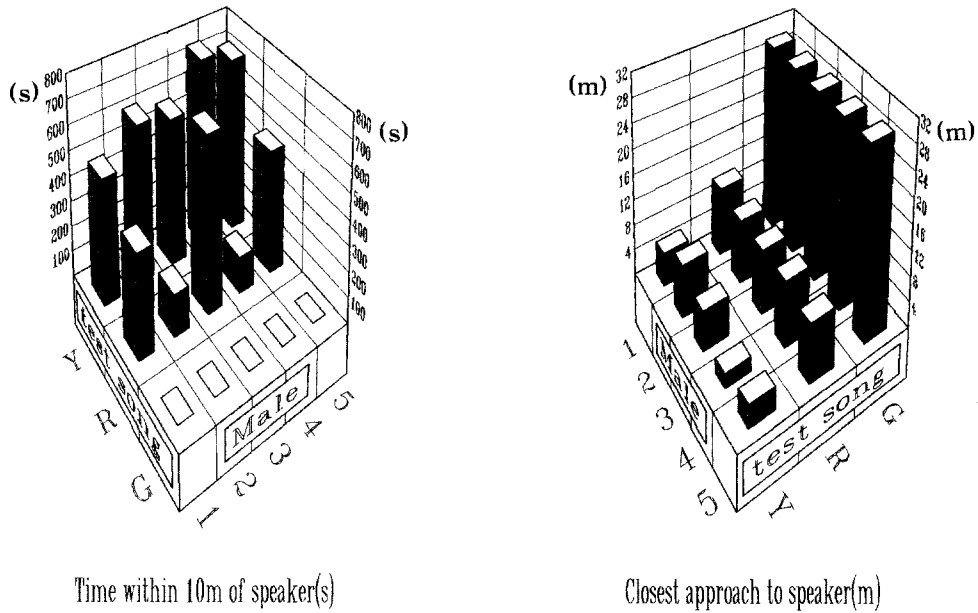


Fig. 4. Response of Yellow-throated Buntings to playback of the three species songs for the five males tested. Note that all five males did not respond the songs of Gray-headed Bunting. G. Gray-headed Bunting. R. Rustic Bunting. Y. Yellow-throated Bunting.

의 간격이 개체적으로 다양한 특징이 나타나며, syllable의 구성과 순서가 복잡한 양상을 보이고 있다(Kim and Park, 1993; Sung and Park, 1993). 그러나 실험 결과는 노랑턱멧새가 쑥새의 song에 반응하고, 붉은뺨멧새의 song에 반응하지 않았다. 이 결과는 각 종의 songs 사이의 유사성으로 인해 자신의 종으로 잘못 인식한 개체에서 일어날 수 있으며, 이에 대한 연구는 많은 실험에서 밝히고 있다(Cody, 1969, 1973, 1974; Margoliash, 1983, 1986; McGregor *et al.*, 1983; MacArthur, 1986; Helb, 1973; Becker, 1982; Nelson, 1987). 노랑턱멧새와 붉은뺨멧새의 song 특징을 비교할 때 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 차이가 있었고, 또한 song 특징을 양적으로 분석한 결과 (Table 1)를 고려해 볼때 CV값이 작은 song 당 syllable수, song duration, highest frequency, lowest frequency와 같은 song 특징이 종인식에 중요한 역할을 하였으리라 판단된다. 그것은 개체간 변이가 타종에 비해 다양한 쑥새의 song과 노랑턱멧새의 song을 비교하였

을때 많은 부분에서 쑥새의 song과 중복되어 있고, CV값이 작은 song 특징의 평균이 붉은뺨멧새보다 쑥새와 비슷하여 노랑턱멧새에 의해 무시되었을 가능성이 있다. 또한 song인식에 결정적인 역할을 하는 syllable의 유형을 비교해 볼때 (Kim and Park, 1993; Sung, 1994), 처음 듣는 사람은 쑥새와 노랑턱멧새를 잘 구별하지 못 할 정도로 쑥새의 song내에는 보다 많고, 유사한 syllable을 노랑턱멧새와 공유하고 있기 때문인 것으로 보인다.

자극의 유사성과 함께 종간의 세력권 경쟁으로 인한 또 하나의 종 인식의 가능성이 있다. 개체는 경쟁의 상황에 있어서 규칙적으로 만나고 듣는 같은 지역의 종의 songs을 인식하고 반응하도록 배울 수 있다(Goldman, 1973; Catchpole, 1977; Helb *et al.*, 1985). 특히 Catchpole(1978)은 *Acrocephalus warblers*를 대상으로 동소성과 이소성을 이루는 지역에서 playback실험을 한 결과 의미있는 종간 반응은 단지 동소종에 있어서 경쟁의 조건하에서만 일어나고 있음을 보여주었다. 또한 세력권을 형성하

는 Meadow Pipits(*Anthus pratensis*)에 대한 최근의 연구에서 비록 Rock Pipits(*A. spinoletta*)와 형태적으로 유사하고, 세력권을 공유하며 두 종사이에 세력권을 형성하기 시작하는 초기만을 제외한 나머지 기간동안 중간 방해가 없었지만 타종을 구별할 수 있음을 야외 실험을 통하여 입증했다(Elfström, 1990). 본 실험 지역에서의 붉은뺨멧새는 이소성으로서 상호간의 접촉이 없으나, 쑥새는 봄에 이동하는 겨울철새로 노랑턱멧새와는 세력권을 형성하는 3-4월동안 접촉할 기회가 있다. 그러나 실험이 진행된 지역에서 노랑턱멧새와 쑥새와의 세력권이 겹치는지 혹은 상호간에 배타적인지 지금으로서는 정확히 말할 수 없고 단지 두 종은 서로 가청공간 내에 있어서 서로의 존재에 대한 학습이 가능할 것으로 보여진다.

이상에서와 같이 노랑턱멧새의 song내에는 종 인식을 위한 의미있는 song 특징이 내재해 있는 것으로 사료된다. 그러나 변이의 분석으로 나타난 의미있는 특징 모두가 종 인식에 쓰인다고는 단정할 수 없다. 단지 어느 특징이 종 인식에 절대적이며 중요한 순서인지는 더 정교한 실험이 요구된다.

인용문헌

- Becker, P.H., 1982. The coding of species-specific characteristics in bird sounds. In: *Acoustic Communication in Birds* (D. E. Kroodsma and E.H. Miller, eds). Academic Press Inc., New York, Vol.1, pp. 213-252.
- Brémond, J.C., 1976. Specific recognition in the song of Bonelli's Warbler (*Phylloscopus bonelli*). *Behaviour* **58**: 99-116.
- Brémond, J.C., 1978. Acoustic competition between the song of the Wren (*Troglodytes troglodytes*) and the songs of other species. *Behaviour* **65**: 89-98.
- Catchpole C.K., 1977. Aggressive responses of male Sedge Warblers (*Acrocephalus schoenobaenus*) to playback of species song and sympatric species song, before and after pairing. *Anim. Behav.* **25**: 489-496.
- Catchpole C.K., 1978. Interspecific territorialism and competition in *Acrocephalus* Warblers as revealed by playback experiments in areas of sympatry and allopatry. *Anim. Behav.* **26**: 1072-1080.
- Cody, M.L., 1969. Convergent characteristics in sympatric species: A possible relation to interspecific competition and aggression. *Condor* **71**: 222-239.
- Cody, M.L., 1973. Character convergence. *Ann. Rev. Ecol. System.* **4**: 189-211.
- Cody, M.L., 1974. *Competition and the Structure of Bird Communities*. Princeton University Press, New Jersey.
- Dabelsteen, T. and Pedersen, S.B., 1985. Correspondence between messages in the full song of the Blackbird (*Turdus merula*) and meanings to territorial males, as inferred from responses to computerized modifications of natural song. *Z. Tierpsychol.* **69**: 149-165.
- Dabelsteen, T. and Pedersen, S.B., 1992. Song features essential for species discrimination and behaviour assessment by male Blackbirds (*Turdus merula*). *Behaviour* **121**: 259-287.
- Elfström, S.T., 1990. Responses of territorial meadow pipits to strange and familiar song phrases in playback experiments. *Anim. Behav.* **40**: 786-788.
- Emlen, S.T., 1972. An experimental analysis of the parameters of bird song eliciting species recognition. *Behaviour* **41**: 130-171.
- Falls, J.B., 1963. Properties of bird song eliciting responses from territorial males. *Proc. Int. Ornithol. Congr.* **13**: 259-271.
- Falls, J.B., 1982. Individual recognition by sounds in birds. In: *Acoustic Communication in Birds* (D.E. Kroodsma and E.H. Miller eds.), Academic Press Inc., New York, Vol. 2 pp. 237-273.
- Goldman, P., 1973. Song recognition by field sparrows. *Auk* **90**: 106-113.
- Helb, H.W., 1973. Analyse der artisolierenden Parameter im Gesang des Fitis (*Phylloscopus trochilus*) mit Untersuchungen zur Objektivierung der analytischen Methode. *J. Ornithol.* **114**: 145-206.
- Helb, H.W., Dowstett-Lemaire, F., Bergmann, H.H., and Conrads, K., 1985. Mixed singing in European song birds - a review. *Z. Tierpsychol.* **69**: 27-41.
- Hutchison, R.E., Stevenson, J.G. and Thorpe, W.H., 1968. The basis for individual recognition by voice in the Sandwich Tern (*Sterna andvicensis*). *Behaviour* **32**: 150-157.
- Kim, K.W. and Park, S.R., 1993. Intraindividual and interindividual variations of stereotyped songs in Gray-headed Bunting (*Emberiza fucata*). *The Korean J. Zool* **36**: 476-486.
- MacArthur, P.D., 1986. Similarity of playback songs to self song as a determinant of response strength in Song Sparrows (*Melospiza melodia*). *Anim. Behav.*

- 34:** 199-207.
- Margoliash, D., 1983. Acoustic parameters underlying the responses of song-specific neurons in the White-crowned Sparrow. *J. Neurosci.* **3:** 1039-1057.
- Margoliash, D., 1986. Preference for autogenous song by auditory neurons in a song system nucleus of the White-crowned Sparrow. *J. Neurosci.* **6:** 1643-1661.
- Marler, P., 1960. Bird songs and mate selection, In: Animal sounds and communication (Lanyon, W.E. and W.N. Tavalga, eds.). Am. Inst. Biol. Sci. Publ. Washington, DC. No.7, pp.348-367.
- McGregor, P.K., Krebs, J.R. and Rateliffe, L.M., 1983. The response of Great tits (*Parus major*) to the playback of degraded and undegraded songs: the effect of familiarity with the stimulus song type. *Auk.* **100:** 898-906.
- Nelson, D.A., 1987. Song syllable discrimination by Song Sparrows (*Melospiza melodia*). *J. Comp. Psychol.* **101:** 25-32.
- Nelson, D.A., 1988. Feature weighting in species song recognition by the Field Sparrow, *Spizella pusilla*. *Behaviour* **106:** 158-182.
- Nelson, D.A., 1989. Song frequency as a cue for recognition of species and individuals in the Field Sparrow (*Spizella pusilla*). *J. comp. Psychol.* **103:** 171-176.
- Siegel, S., 1956. Nonparametric Statistics For the Behavioral Sciences. New York: McGraw-Hill.
- Simpson, B.S., 1984. Tests of habituation to song repertoires by Carolina Wrens. *Auk.* **101:** 244-254.
- Sung, H.C., 1994. The study of recognition on the basis of song by Yellow-throated Bunting (*Emberiza elegans*). Master's Thesis, Korea Nat. Univ. of Education
- Sung, H.C and Park, S.R., 1993. Neighbor recognition by song in the Yellow-throated Bunting (*Emberiza elegans*). *Korean J. Behav. Biol.*, **2:** 45-54.

(Accepted September 9, 1994)

Species Recognition on the Basis of Song by Yellow-throated Bunting (*Emberiza elegans*)

Ha-Cheol Sung and Shi-Ryong Park (Department of Biology Education, Korea National University of Education, Chung-Buk, 363-791, Korea)

On the basis of song, species recognition was studied during March 1992 - May 1993 from a population of Yellow-throated Buntings (*Emberiza elegans*) inhabiting at Da-rak, Chong-won, Chung-buk in Korea. First, 'stereotyped songs' recorded from the Yellow-throated Bunting, the Gray-headed Bunting (*Emberiza fucata*) and the Rustic Bunting (*Emberiza rustica*) were analyzed with sona-graph to investigate species-specific characteristics. Second, 5 territorial males played songs of three species were tested to understand the ability of species recognition. Yellow-throated Buntings did not observed to respond to the songs of Gray-headed Bunting, but significantly respond to the songs of Rustic Bunting with their own species songs. Thus, the possibility of species recognition are discussed on the basis of analyses about song features among 3 species.