논에서 잡초 방제방법에 따른 제초효과

김윤하[1], 강상모, 압둘라티프칸, 이준희, 이인중*

Aspect of Weed Occurrence by Methods of Weed Control in Rice Field

Yoon Ha Kim[1], Sang Mo Kang, Abdul Latif Khan, Joon Hee Lee and In Jung Lee*

ABSTRACT In present study we focused on the weed occurrence and diversity in rice field according to methods of weed control. Experiments comprised of no herbicide treatment (NHT), herbicide treatment (HT) and golden apple snail treatment (GAST) within the three months (July to September) of growing rice. According to results, five to seven different weed species were found in NHT, while two to four different weed species were found in HT and GAST. *Monochoria vaginalis* was dominant species during growing period in NHT and HT while *Lemna paucicostata* was the dominant in July but *Persicaria hydropiper* was dominant for August and September. Simpson's dominance index was highest in GAST(0.96) compared with other treatments (NHT : 0.27 and HT : 0.51). The similarity coefficient was 50.31%, 4.65% and 0.38% for NHT versus HT, NHT versus GAST and HT versus GAST, respectively. In conclusion, the weed species diversity, dominance and similarity coefficient were varied in different weed control methods of rice growing.

Key words : bio-deversity; dominant index; golden apple snail; similarity coeffecient.

서 언

최근 들어 논은 아시아 국가에서 주곡작물을 생산하는 경작지 이외에도 습지로서의 중요성이 인식되어 왔다. 이런 이유에서 전 세계의 람사르 등록습지 중 벼가 자라고 있는 습지가 75곳이 선정되어 있으며(람사르협약 2008), 여러 동아시아국가에서 이들 습지내 생물 다양성과 관련하여 많은 연구를 진행하고 있다. 국내에서도 논 생물다양성 증진 연구에 일환으로 친환경 유기농업 논과 관행농업의 생물조사 및 생물종 비교, 분석을 실시하고 있으며, 논 생물다양성 증진을 위한 생태기반 조성연구 또한 시행하고 있는 중이다(김 등 2010).

우리나라의 벼 재배양식은 경제적, 환경적 영향에 의해 변화되어 왔다. 1970년대에는 절대적으로 부족한 식량의 생산량을 증가시키기 위한 농법으

[1] 경북대학교 응용생명과학부, 702-701 대구광역시 북구 대학로 80(School of Applied Bioscience, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea).

* 연락저자(corresponding author) : Phone) +82-53-950-5708, Fax) +82-53-958-6880, E-mail) ijlee@knu.ac.kr

(Received March 15, 2011; Examined March 18, 2011; Accepted March 24, 2011)

로 비료, 농약과 같은 화학에너지 투입량이 과다한 시기였으나, 1990년대 이후 환경보존 및 지속적 농업이 강조되면서 농업 생산성 향상과 생태계 보존을 동시에 추구하는 재배방법이 각광을 받게 되었다(구 등 2002). 지속적 농업의 종류에는 무비재배, 무농약재배, 유기재배 등이 있으나, 현재 우리나라에서 주로 왕우렁이, 쌀겨, 종이멀칭, EM당밀(Effective microorganism) 등을 이용하여 잡초관리를 시행하고 있다.

이중 왕우렁이를 이용한 잡초방제방법은 1983년 식용으로 국내에 도입한 왕우렁이의 왕성한 먹이 습성을 이용하여 1992년부터 논잡초 방제용으로 이용한 것으로 추정하고 있으며(이 등 2002), 현재 국내 대부분의 친환경재배에서 널리 이용되고 있다(권 등 2010). 그러나 왕우렁이는 왕성한 먹이습성 때문에 제초의 효율이 좋은 장점이 있으나, 김 등 (2007)은 벼 담수직파재배에서 왕우렁이에 의해 약 20%정도, 기계이앙재배에서 4.7%의 벼 피해가 발생하였다고 보고하였다. 또 권 등 (2010)은 열대지방이 원산지인 왕우렁이가 국내 남부지방의 수로나 저수지 등지에서 월동이 가능하여 생태계 교란 및 많은 문제점이 발생될 수 있다고 보고하였다. 무비, 무농약 재배는 일체의 유기합성비료 및 농약 사용을 지양하는 농법으로 여러 지역에서 실시되고 있다(윤 등 2007; 이 등 2006). 잡초 및 병해충 방제를 목적으로 농약을 사용하는 관행재배농법은 제초제 사용으로 인해 잡초방제의 노력이 줄어들어 농업의 생력화는 가능하나 제초제 연용으로 인한 저항성 잡초의 출현이 유발되는 문제점을 가지고 있다(박 등 2010; 임 등 2005; 황 2003).

이처럼 벼 재배에 이용되는 잡초관리방법에 따라 논 생태계내 잡초종 다양성, 발생량 및 우점종에 차이가 발생하게 되지만 이에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 벼 이앙재배에서 잡초방제방법에 따라 논 잡초종이 어떻게 변화하는지를 파악하고 이를 바탕으로 논 생태계 식물종 다양성 증진을 위한 기초자료로 이용하기 위해 수행한 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

시험포장 및 재배양식

본 시험은 2010년 경상북도 군위군 효령면 경북대학교 부속실습장에서 실시하였다. 전년도까지 표준재배를 실시하던 논 중 잡초관리를 전혀 하지 않은 무제초제처리와 제초제를 이용한 관행재배 및 왕우렁이를 이용한 친환경재배로 구분하였다. 시험 포장내 비료 투입량은 질소, 인산, 가리를 각각 10a당 11-4.5-5.7kg 시용하였으며, 벼 품종은 칠보벼를 육묘상자당 100g을 파종한 후 40일간 육묘하여 6월 7일에 기계 이앙하였다. 왕우렁는 이앙 후 5일 뒤 부화한지 60~80일 된 왕우렁이를 10a당 5kg 투입하였고, 제초제 처리는 이앙 후 15일에 카펜트라졸에틸·피라조설퓨론에틸·피리미노박메틸 0.42% 입제(상표명 : 안노처)를 10a당 3kg를 처리하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

잡초방제 방법별 발생잡초의 분석

잡초조사는 이앙 후 30일부터 30일 간격으로 3회 시험구당 0.25m^2 (0.5×0.5m)씩 5구역에서 채취한 잡초의 본수와 건물중을 m^2으로 환산하였다. 잡초 종다양도 지수는 해당지역에서 식물의 종풍부도 정도와 개체수의 상대적 균형성 등 군집의 복잡성을 나타내는 Shannon-Weaver diversity index (1963)의 방법을 채택하였으며, 그 산출식은 아래와 같다.

$$H = \sum pi \log pi \quad (pi : \text{i차종의 점유율})$$

종풍부도 분석은 Margalef species richness index (1958)의 계산방법을 따랐으며, 그 산출 공식은 아래와 같다.

$$d1 = S-1/\log N \quad (S : \text{출현종수}, N : \text{출현개체수})$$

각 군집의 중요값을 이용하여 우점도 지수 및 유사성 계수를 산출하였으며, 그 산출 공식은 아래와 같다.

$$C = \sum (n_i/N)^2$$

(C = 우점도 지수, n_i = 개개의 종이 갖는 중요값, N = 각각의 중요값의 합)

$$S = 2W/a+b \times 100$$

(W = 군집에 공존하는 종 가운데 중요값이 낮은 것, a와 b = 각 군집의 모든 종의 중요값의 합계)

결과 및 고찰

논 잡초방제방법 따른 잡초종수, 개체수, 종다양도 및 종풍부도

1차 조사일인 2010년 7월 8일 무제초제, 제초제 및 왕우렁이를 각각 처리한 구역에서 채집된 잡초종수, 개체수, 종다양성 및 종풍부도 분석결과는 표 1과 같다. 무제초제구에서는 총 7종(여뀌, 여뀌바늘, 물달개비, 알방동사니, 밭뚝외풀, 강피, 한련초)의 잡초종과 328본 m^{-2} 개체수가 조사되었으며, 우점종은 물달개비로 확인되었다. 제초제 처리구에서는 총 2종(물달개비, 강피)의 잡초종과 36본 m^{-2} 개체수가 조사되었으며, 우점종은 강피로 확인되었다. 왕우렁이 처리구에서는 총 3종(여뀌, 여뀌바늘, 좀개구리밥)의 잡초종과 1000본 m^{-2} 개체수가 조사되었으며, 우점종은 좀개구리밥으로 확인되었다(표 1). 잡초방제방법별 종다양도 지수는 무제초제구에서 1.50, 제초제 처리구에서 0.69, 왕우렁이 처리구에서 0.11로 조사되었고, 종풍부도 지수는 무제초제구에서 6.83, 제초제 처리구에서 1.72, 왕우렁이 처리구에서 2.86로 조사되어 무제초제구가 종다양도 및 종풍부도가 가장 높은 것으로 확인되었다(표 1).

2차 조사일인 2010년 8월 8일 잡초 조사결과는 표 2와 같다. 무제초제구에서는 5종(여뀌, 여뀌바늘, 물달개비, 알방동사니, 강피)의 잡초종과 94본 m^{-2}개체수가 조사되었고, 우점종은 여뀌로 확인되었다. 제초제 처리구에서는 2종(물달개비, 물피)의 잡초종과 13본 m^{-2} 개체수가 조사되었으며, 우점종은 물달개비로 확인되었다. 왕우렁이 처리구에서는 4종(여뀌, 여뀌바늘, 알방동사니, 한련초)의 잡초종과 45본 m^{-2} 개체수가 조사되었고, 우점종은 여뀌로 확인되었다(표 2). 발생잡초의 종다양도 지수는 무제초제처리구에서 0.57, 제초제 처리구에서 0.27, 왕우렁이 처리구에서 0.51로 조사되었고, 종풍부도 지수는 무제초제구에서 4.78, 제초제 처리구에서 1.61, 왕우렁이 처리구에서 3.74로 조사되어 무제초제구가 다른 처리에 비해 종다양도 및 풍부도가 높은 것으로 확인되었다(표 2).

3차 조사일인 2010년 9월 8일 조사결과는 표 3과 같다. 무제초제구에서는 7종(여뀌, 여뀌바늘, 물달개

Table 1. Occurrence, diversity and species richness indices of weeds determined 8th July 2010 in the different weeding system of Gunwi, Gyengbuk province, rice field.

Weed species	NHT[1]		HT[2]		GAST[3]	
	PN[4] (m^2)	DW[5] (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})
Persicaria hydropiper	16	25.6	-	-	12	56.5
Ludwigia prostrata	56	31.6	-	-	8	12.6
Lemna paucicostata	-	-	-	-	980	1.62
Monochoria vaginalis	132	144.1	16	29.0	-	-
Cyperus difformis	24	33.6	-	-	-	-
Lindernia procumbens	88	8.9	-	-	-	-
Echinochloa oryzicola	8	41.4	20	20.4	-	-
Eclipta prostrata	4	3.0	-	-	-	-
SN[6]	7		2		3	
TSN[7]	328		36		1000	
SWDI[8]	1.50		0.69		0.11	
MSRI[9]	6.83		1.72		2.86	

[1]NHT, No herbicide treatment; [2]HT, Herbicide treatment; [3]GAST, Golden apple snail treatment; [4]PN, Plant number; [5]DW, Dry weight; [6]SN, Species number; [7]TSN, Total species number; [8]SWDI, Shannon-Weaver diversity index; [9]MSRI, Margalef species richness index.

Table 2. Occurrence, diversity and species richness indices of weeds determined 8th August 2010 in the different weeding system of Gunwi, Gyengbuk province, rice field.

Weed species	NHT[1)]		HT[2)]		GAST[3)]	
	PN[4)] (m^2)	DW[5)] (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})
Persicaria hydropiper	3	6.8	-	-	39	477.9
Ludwigia prostrata	20	52.9	-	-	4	55.5
Monochoria vaginalis	60	47.8	12	26.1	-	-
Cyperus difformis	7	24.7	-	-	1	29.5
Echinochloa crus-galli	-	-	1	87.0	-	-
Echinochloa oryzicola	4	93.0	-	-	-	-
Eclipta prostrata	-	-	-	-	1	9.52
SN[6)]	5		2		4	
TSN[7)]	94		13		45	
SWDI[8)]	0.57		0.27		0.51	
MSRI[9)]	4.78		1.61		3.74	

[1)]NHT, No herbicide treatment; [2)]HT, Herbicide treatment; [3)]GAST, Golden apple snail treatment; [4)]PN, Plant number; [5)]DW, Dry weight; [6)]SN, Species number; [7)]TSN, Total species number; [8)]SWDI, Shannon-Weaver diversity index; [9)]MSRI, Margalef species richness index.

비, 물피, 강피, 한련초, 미국가막사리)의 잡초종과 68본 m^{-2}의 개체수가 조사되었고, 우점종은 물달개비로 확인되었다. 제초제 처리구에서는 3종(물달개비, 강피, 한련초)의 잡초종과 10본 m^{-2}의 개체수가 조사되었고, 우점종은 물달개비로 확인되었다. 왕우렁이 처리구에서는 2종(여뀌, 강피)의 잡초종과 7본 m^{-2}의 개

Table 3. Occurrence, diversity and species richness indices of weeds determined 8th September 2010 in the different weeding system of Gunwi, Gyengbuk province, rice field.

Weed species	NHT[1)]		HT[2)]		GAST[3)]	
	PN[4)] (m^2)	DW[5)] (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})	PN (m^2)	DW (g m^{-2})
Persicaria hydropiper	3	17.6	-	-	4	57.5
Ludwigia prostrata	4	54.0	-	-	-	-
Monochoria vaginalis	40	113.9	8	24.7	-	-
Echinochloa crus-galli	3	137.2	-	-	-	-
Echinochloa oryzicola	4	51.9	1	13.3	3	99.6
Eclipta prostrata	4	175.6	1	29.5	-	-
Bidens frondosa	3	302.9	-	-	-	-
SN[6)]	7		3		2	
TSN[7)]	68		10		7	
SWDI[8)]	0.78		0.64		0.68	
MSRI[9)]	6.76		2.57		1.49	

[1)]NHT, No herbicide treatment; [2)]HT, Herbicide treatment; [3)]GAST, Golden apple snail treatment; [4)]PN, Plant number; [5)]DW, Dry weight; [6)]SN, Species number; [7)]TSN, Total species number; [8)]SWDI, Shannon-Weaver diversity index; [9)]MSRI, Margalef species richness index.

체수가 조사되었고, 우점종은 여뀌로 확인되었다(표 3). 종다양도 지수는 무제초제구에서 0.78로 제초제 처리구 0.64와 왕우렁이 처리구 0.68보다 높았다. 종풍부도 지수 또한 무제초제구에서 6.76로 제초제 처리구 2.57과 왕우렁이 처리구 1.49 보다 높아 무제초제구가 종다양도 및 종풍부도가 다른 재배양식에 비해 확연히 높은 것으로 분석되었다(표 3).

이처럼 모든 조사 분석에서 제초제 처리구 및 왕우렁이 처리구는 무제초제구에 비해 잡초종 다양도 및 풍부도지수가 감소하는 양상을 보였다. 또한 조사시기에 따라 발생되는 잡초종이 변화하는 것으로 나타났다. 특히 왕우렁이처리는 1차 조사에서 좀개구리밥이 군락을 형성하고 우점을 하였으나, 2차 및 3차조사에서는 발견되지 않았다. 그 이유는 첫째, 좀개구리밥의 경우 다른 잡초종과 달리 뿌리를 지표면에 고정하지 않고 수면위에 떠 군락 형태를 유지하기 때문에 벼 재배중 물관리 과정에서 유실되었을 가능성이 있을 것으로 판단되며, 둘째는 좀개구리밥의 경우 체적이 적고, 조직이 연한 특성 때문에 왕우렁이가 습식하기에 좋은 조건인 관계로 개체수가 급격히 감소된 것으로 추측된다. 위와 같은 결과로 2차 조사부터는 왕우렁이 처리구에서는 여뀌가 우점하는 양상을 보였다. 이는 여뀌내 함유된 독성분으로 인해 왕우렁이가 습식을 기피해 발생된 결과로 판단된다. 이에 반해 무제초제구 및 제초제 처리구에서는 1, 2, 3차에 걸친 모든 조사에서 물달개비가 우점종으로 확인되었다. 특히 제초제 처리구에서 일년생과 다년생 잡초에 제초효과가 있는 것으로 알려진 제초제를 처리하였으나 제초제 처리구에서 계속된 물달개비 출현 및 우점현상은 설포닐우레아계 제초제 저항성 잡초의 출현으로 추정할 수는 있으나, 추가적인 실험을 통해 명확히 구명해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

발생잡초의 우점도 지수 및 유사성 계수

서로 다른 논잡초 방제방법에서 잡초종간 개체수가 균일하게 분포되었는지를 확인하기 위해 우점도 지수를 조사한 결과는 표 4와 같다. 표 1~3에 조사된 잡초종 개체수를 이용하여 각 잡초군집별 중요값을 산출하고 이를 바탕으로 각각의 잡초방제 방법별 우점도 지수를 산출한 결과 무제초제구에서 0.27로서 제초제 처리구(0.51)와 왕우렁이 처리구(0.96) 보다 낮은 것으로 분석되었다(표 4). 우점도 지수가 무제초제구에서 다른 처리구에 비해 낮은 이유는 무제초제구의 잡초종이 다양하게 발생되었기 때문이다. 반면에 왕우렁이 처리구에서는 우점도 지수가 다른 처리에 비해 높은 것은 여뀌와 같은 독성성분을 함유한 잡초에 대해서는 왕우렁이가 습식을 기피하였기 때문에 특정종의 우점현상이 나타난 것으로 사료된다. 이런 현상은 추후 왕우렁이를 이용한 친환경재배지에서 특정 잡초종의 우점 현상이 초래될 가능성을 시사한다. 잡초방제 방법별 발생된 잡초군집의 유사성 계수를 분석한 결과는 표 5와 같다. 무제초제구와 제초제 처리구사이에서는 50.31%의 유사성을 보였고, 무제초제구와 왕우렁이 처리구사이에서는 4.65%의 유사성을 보였으며, 제초제 처리구와 왕우렁이 처리구사이에서는 0.38%의 유사성을 보이는 것으로 분석되어 무제초제구와 제초제 처리구에 비해 왕우렁이 처리구는 확연히 다른 잡초군이 형성된 것으로 사료된다(표 5).

Table 4. Simpson's dominance index in different weeding methods.

Weeding methods	Simpson's dominance index
No herbicide treatment	0.27
Herbicide treatment	0.51
Golden apple snail treatment	0.96

잡초는 논 생태계내에서 생물종을 구성하는 중요한 식물종에 하나이며 이들은 논 재배양식에 따라 다른 형태의 군락을 형성하는 것으로 조사되었다. 구 등(2002)도 유기물 및 제초제 시용에 따라 잡초종의 군락이 년차별로 다양한 형태로 천이한다고 보고하였으며, 안 등(2008)은 대두박과 쌀겨 처리를 통해서 잡초방제를 실시한 결과 잡초가 이들 처리 비율에 의해 다른 형태로 천이되는 것으로 보고한 바 있다. 또 성 등(2009)과 이 등(2005)은 벼 재배시 녹비작물의 시용 또한 잡초군락 형성에 영향을 미친다고 보고하였다.

Table 5. Similarity coefficient in different weeding methods.

Weeding methods	Similarity coefficient (%)		
	NHT	HT	GAST
NHT[1)]	-	50.31	4.65
HT[2)]	50.31	-	0.38
GAST[3)]	4.65	0.38	-

[1)]NHT, No herbicide treatment;
[2)]HT, Herbicide treatment;
[3)]GAST, Golden apple snail treatment.

결론적으로 본 실험은 무제초제, 제초제 처리 및 왕우렁이 처리라는 국한된 재배법을 사용하였을 때 발생된 잡초군락의 천이가 논 생태계 식물종 다양성 연구에 기초적 자료로 이용이 가능할 것으로 사료된다. 논 생태계 식물종 다양성을 유지 및 관리하는데 필요한 자료 축적을 위해 보다 더 다양한 형태의 재배법이 도입되고 잡초종의 천이과정을 밝혀줄 연구가 추가되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 잡초방제방법에 따른 논 포장내 잡초발생과 다양성에 관하여 조사하였다. 실험은 3개월(7월~9월)동안 무제초제, 제초제 처리 및 왕우렁이 처리로 잡초방제방법을 구성하여 실시하였다. 실험결과에 의하면 무제초제구에서는 5~7종류의 잡초종이 발견된 반면, 제초제 처리구 및 왕우렁이 처리구에서는 2~4종류의 잡초종이 발견되었다. 무제초제구 및 제초제 처리구에서는 실험기간동안 물달개비가 우점종이었으나, 왕우렁이 처리구에서는 좀개구리밥과 여뀌가 우점종이었다. 왕우렁이 처리구에서 우점도 지수는 0.96으로 무제초제구(0.27) 및 제초제 처리구(0.51)에 비해 상당히 높은 것으로 분석되었다. 또 유사성 계수는 무제초제구와 제초제 처리구에서 50.31%, 무제초제구와 왕우렁이 처리구에서 4.65% 및 제초제 처리구와 왕우렁이 처리구에서 0.38%로 분석되었다. 결론적으로 잡초종 다양성, 우점도 지수 및 유사성 계수는 잡초방제방법에 따라 확연히 다른 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 PJ007522) 및 BK21 사업단에서 연구비를 지원받았습니다.

인 용 문 헌

구연충, 송득영, 이상복, 성기영, 박정화. 2002. 벼 재배양식에 따른 잡초다양성 변화. 한국잡초학회지 22(3):254-258.

권오도, 박홍규, 안규남, 이인, 신서호, 신길호, 신해룡, 국용인. 2010. 벼 친환경재배에서 왕우렁이의 잡초방제효과 및 피해. 한국잡초학회지 30(3): 282-290.

김도익, 고숙주, 최덕수, 강범용, 임경호, 김선곤, 김종선. 2010. 유기농업 논과 과수원에서 생물다양성. 한국유기농업학회 상반기 학술발표회 146-168.

김도익, 김선곤, 최경주, 강범용, 박종대, 김정준, 최동로, 박형만. 2007. 전남지역 왕우렁이의 발생생태 및 피해. 한국응용곤충학회지 46(1):109-115.

박태선, 구본일, 강신구, 최민규, 박홍규, 이경보, 고재권. 2010. ACCase 및 ALS 저해 제초제들에 대한 저항성 강피의 반응과 대체약제들의 효과. 한국잡초학회지 30(3):291-299.

성기영, 전원태, 조현숙, 김민태, 김충국. 2009. 녹비연용 벼 재배 논에서 잡초발생 조사. 한국잡초학회지 29(3):204-212.

안설화, 이상복, 류철현. 2008. 벼 기계이앙 논에서 잡초방제와 벼 생육에 대한 대두박 및 대두박과 쌀겨의 혼합효과. 한국잡초학회지 28(3):236-241.

윤성탁, 박상헌, 김영휘. 2007. 미생물제제를 이용한 친환경 벼 생산체계의 관한 연구-EM 등 친환경 농자재 처리수준이 벼 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 15(2):207-218.

이상계, 이용환, 김지수, 이병모, 김미자, 신재훈, 김

한명, 최두회. 2005. 유기 및 관행벼 재배지 병해와 잡초 발생 및 방제에 관한 연구. 한국유기농업학회지 13(3):291-300.

이상범, 고문환, 나영은, 김진호. 2002. 왕우렁이의 생리·생태적 특성에 관한 연구. 한국환경농학회지 21(1):50-56.

이용환, 이상민, 성좌경, 최두희, 김한명, 류갑희. 2006. 유기 논농업 토양관리 기술개발. 한국유기농업학회지 14(2):205-217.

임일빈, 국용인, 강종국, 김선, 황재복. 2005. 올미(*Sagittaria pigmaea* Miq.)의 설포닐우레아계 제초제에 대한 저항성 및 방제 특성. 한국잡초학회지 25(1):28-35.

제10차 람사르협약 당사국총회. 2008.

황인택. 2003. Acetolactate Synthase 저해 제초제에 대한 식물체내 저항성 발현 기작. 한국잡초학회지 23(1):11-27.

Margalef, D. R. 1958. Information theory in ecology. Amer. Natur. 97 : 357-374.

Shannon, C. E., and W. Weaver. 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, 125 p.