

친환경 고추밭 바랭이와 가는털비름 발생밀도에 따른 고추 수량 반응

원종건^{1*} · 장길수¹ · 황지은¹ · 권오훈¹ · 권태영¹ · 문병철²
¹경상북도 농업기술원 영양고추시험장, ²농촌진흥청 국립농업과학원

Yield Response of Red Pepper by Densities of *D. ciliaris* and *A. patulus* in Eco-friendly Cultivated Field

Jong-Gun Won^{1*}, Kil-Su Jang¹, Ji-Eun Hwang¹, Oh-Hun Kwon¹, Tae-Young Kwon¹ and Byeong-Chul Moon²

¹579-3 Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services, Youngyang Pepper Experiment Station, Youngyang, 764-803, Korea

²National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT. This study was conducted to predict the yield response of red pepper and to determine the economic weed threshold levels for red pepper cultivation field from competition with the most serious weeds, *Amaranthus patulus* and *Digitaria ciliaris* in Youngyang of Korea. Crop yield as a function of weed density was predicted by using a rectangular hyperbola, and their economic threshold levels were determined by using the equation developed by Cousens (1987). The red pepper yield loss models of weeds were predicted as $y=304.7/(1+0.063x)$, $R^2=0.967$ in *D. ciliaris* and $y=281.3/(1+0.1723x)$, $R^2=0.952$ in *A. patulus*. Economic thresholds calculated using Cousens' equation were negatively related with the competitiveness of weed. Economic thresholds of each weed were calculated as 18.2 plant 100 m² in *D. ciliaris*, and 7.2 plant 100 m² in *A. patulus*.

Key words: *Amaranthus patulus*, *Digitaria ciliaris*, Red pepper, Weed density, Yield loss

서 론

작물과 잡초 사이의 경합은 농업 생태계에서는 항상 존재하고 있으며, 작물의 수량 형성과 품질 등에 많은 영향을 미치고 있다. 또한 그 영향은 잡초의 밀도나 분수 또는 잡초 종류 및 잡초와 작물간 경합정도의 강도에 따라 다양하게 나타나고 있다(Lindquist et al., 1996; Cowan et al., 1998; Kim et al., 2002; Won et al., 2009; Kwon et al., 2009).

이러한 잡초 발생으로 인한 작물 수량 감소 정도는 수학적 모델식을 이용하여 예측 하려는 노력이 다양하게 시도되었으며(Cousens, 1985; Kropff and Spitters, 1991; Kropff et al., 1995; Berti and Sattin, 1996), 이러한 모델들 가운데서 Cousens (1985)에 의해 시도되었던 잡초의 밀도와 작물의 수량 감소를 연계시킨 Rectangular hyperbola 모델이 가장 많이 사용되고 있다.

모델식을 이용한 잡초 발생에 따른 정확한 수량예측은 제초제 비용, 작물 가격, 잡초 완전 방제시 쌀 수량 등을 종합적으로 고려한 경제적 한계 허용 밀도(Economic threshold)라는 개념을 가능하게 하였다(Cousens, 1987). 이는 잡초 발생 밀도에 따라 방제할 것인가 말 것인가를 경제적인 관점에서 접근하여 의사결정을 가능케 하는 것으로 제초비용 절감은 물론 환경적으로도 매우 유리한 개념이라 할 수 있다.

밭 재배에 있어서 고추는 한국에서 양념류 채소의 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 전체 채소 중 가장 많은 재배 면적과 생산액을 차지한다. 2007년 노지고추 재배면적 54,876 ha 중 경북이 14,761 ha로 전체의 26.9%를 차지하고 있어 특히 경북지역에서 벼 다음으로 중요한 작물로 여겨지고 있다. 그러나 밭재배에 있어서 작물별 잡초 밀도에 따른 작물의 수량감소를 예측한 결과는 콩에 있어서 바랭이(Song et al., 2009)와 미국실새삼(Song et al., 2010)에 대한 보고에 그치고 있다.

바랭이는 1년생 초본으로 꽃이 핀 줄기는 길이 20~80 cm이며 아래쪽의 마디에서는 뿌리가 생긴다(Yang et al., 2004). 바랭이의 줄기는 땅위를 기면서 마디마다 뿌리를 내려 큰

*Corresponding author; Jong-Gun Won
Tel: +82-54-683-1691, Fax: +82-54-683-1690
E-mail: ricewon@korea.kr

Received : November 6, 2012, Revised : November 13, 2012,
Accepted : November 21, 2012

그루를 형성하고 작물 생육 중에는 줄기가 곧게 자라 직립형으로 자라기도 한다. 한편 바랭이는 성숙이 빠를 뿐 아니라 다열성이어서 분얼이 계속 이루어져 장기간에 걸쳐 종자를 생산하는 조산성과 다산성을 고루 갖춘 강해잡초이다(萩森, 1965). 콩에 대한 수량감수 정도는 전 생육 기간을 통한 경합에서 59.6% 정도를 감소시키며(Shin and Kim, 1983), 콩수량의 50% 감소를 유발하는 바랭이 밀도는 m²당 145본으로 추정하였다(Song et al., 2009).

가는털비름은 1년생 초본으로 줄기는 80~200 cm 정도 곧게 자라며, 위쪽에서 가지를 치며 어린 가지나 잎은 연한 털이 있다. 가는털비름은 초기생육이 빨라 작물의 생육 초기부터 작물과 경합한다(LeRoy et al., 1977). 콩과 같이 키가 작은 작물은 이 잡초의 초장이 더 커서 차광에 의한 손실을 입어 수량이 떨어진다고 한다. 특히 발생밀도가 조밀한 경우 이 잡초에 의한 수량 감소는 옥수수의 경우 최고 39%, 콩의 경우에는 55%에 이른다고 하였다(LeRoy et al., 1977).

본시험은 경상북도 농업기술원 영양고추시험장 친환경 고추재배 포장에서 가장 문제가 되는 바랭이와 가는털비름을 대상으로 잡초 밀도별 고추와의 경합력을 구명하고 Rectangular hyperbola 모델을 기초로 잡초의 밀도에 따른 건고추 수량 감소를 예측하고 경제적인 방제 필요수준을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

포장 시험

바랭이와 가는털비름 발생밀도에 따른 고추와의 경합력과 수량 감수 정도를 예측하고, 경제적방제 수준을 설정하기 위해 경상북도 영양고추시험장에서 시험품종인 ‘무한질주’를 공시하여 실시하였다. 잡초의 밀도는 문제잡초인 바랭이와 가는털비름 공히 m²당 0, 1, 8, 24, 48, 96본을 조성하여 초종별 난괴법 5반복으로 노지 1열 재배로 시험을 수행하였다.

고추묘는 2월 20일에 파종하여 5월 1일에 90×40 cm 거리로 정식하였다. 시비량은 10a당 N-19, P₂O₅-11.2, K₂O-14.9 kg을 질소는 40%를 기비로 나머지는 추비로 관비 하였으며, 인산은 전량 기비로, 칼리는 70%를 기비로 나머지는 추비로 관비 하여 재배하였다. 수확은 8월 하순부터 9월 하순까지 3회 수확하여 수량을 평가하였다.

통계분석 및 예측모델 작성

모든 통계분석은 Genstat(Genstat Committee, 1993) 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 잡초 밀도에 따른 고추 수량감소를 예측하기 위한 추정식을 작성하기 위해서는 Cousens(1985)에 의해 제시되었던 Rectangular hyperbola 식을 이용하여 추정하였다.

$$Y = \frac{Y_0}{1 + \beta X} \tag{1}$$

Table 1. Growth characteristics of pepper plants and weeds as affected by different densities of weeds in pepper cultivation fields at 60 day after transplanting.

Weed species	Density (plant m ⁻²)	Growth of pepper plants				Dry weight of weeds	
		Plant height (cm)	Main stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Branch (No. plant)	60DAT ^{b)} (g m ⁻²)	90DAT (g m ⁻²)
<i>D. ciliaris</i>	0	73a ^{a)}	20a	12.5a	6.9a	-	-
	1	73a	18a	12.0a	6.8a	30d	342c
	8	67ab	18a	11.7a	6.4ab	195cd	2,896bc
	24	66a	17a	11.4a	6.5ab	568bc	4,864ab
	48	63b	18a	10.2a	6.1ab	896ab	7,408ab
	96	59b	17a	9.9a	5.7b	1,208a	8,832a
<i>A. patulus</i>	0	73a	20a	12.5a	6.9a	-	-
	1	72a	19a	10.3b	6.8a	32d	432c
	8	67b	21a	10.2b	6.5ab	216cd	3,296bc
	24	65bc	20a	9.9b	6.0ab	544bc	5,856b
	48	63bc	21a	9.9b	6.1ab	904b	6,912b
	96	60c	19a	9.4b	5.4b	1,398a	9,408a

^{a)}The same letters in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

^{b)}DAT : days after transplanting.

여기서 Y_0 는 잡초 완전 방제시의 건고추 수량, β 는 고추에 대한 잡초의 경합력, X 는 잡초의 밀도를 나타낸다.

경제적 잡초 한계 허용 밀도(tE)는 잡초 방제에 필요한 비용, 제초제 비용, 건고추 가격 등을 Cousens(1987)이 개발한 식에 적용 계산하였다.

$$tE = \frac{C_h + C_a}{Y_0 PLH} \quad (2)$$

여기서 C_h 는 제초제 가격, C_a 는 제초 작업 비용, Y_0 는 잡초 완전방제시 건고추 수량, P 는 건고추 가격, L 은 잡초 1본 발생에 따른 건고추 수량 감소율, H 는 제초제 처리시 방제가를 나타낸다.

결과 및 고찰

잡초 밀도에 따른 고추 생육 차이

Table 1은 잡초 종류별 밀도에 따른 고추의 중간 생육 변화로 고추의 초장, 주경장, 경경, 분지수 및 측지수에 대한 차이와 잡초의 초장 및 건물중 변화를 나타낸 것으로 고추 정식 후 약 60일경에 조사하였다. 정식 후 60일경이었지만 바랭이와 가는털비름 모두 잡초의 본수에 따라 고추의 초장이 m^2 당 8본부터 유의하게 짧아지기 시작하였으나 주경장의 길이는 차이가 없었다. 바랭이의 발생 밀도에 따른 고추 줄기의 굵기는 차이가 없었으나, 가는털비름과의 경합에서는 1본부터 유의한 차이가 나타나기 시작하였다. 고추 분지수는 바랭이와 가는털비름 모두에서 8본부터 감소하였다. 이는 잡초의 생육에서 건물중이 바

랭이와 가는털비름 공히 m^2 당 1본에서부터 유의하게 증가하는 것에서 알 수 있는 바와 같이 잡초의 본수가 증가함에 따라 초장뿐만 아니라 m^2 당 차지하는 건물중이 급격히 증가함에 따라 상대적으로 고추의 생육이 더 많은 영향을 받은 것으로 나타났다. 잡초의 생육은 발생 본수가 증가함에 따라 유의하게 컸으며, 건물중 또한 같은 경향이였다.

잡초 밀도에 따른 건고추 수량 및 과실특성 변화

한편, 잡초 발생 본수에 따른 건고추 수량 및 과실특성 변화는 Table 2에서 보는 바와 같다. 고추의 과장, 과경 그리고 과육의 두께는 잡초의 본수에 관계없이 일정한 경향이였으나, 고추의 주당 과수는 바랭이와 가는털비름 공히 8본이 발생 했을 때부터 유의성 있게 감소하였다. 바랭이의 경우 24본부터 고추 과수가 급격히 감소하였으며, 가는털비름은 그보다 적은 8본부터 급격히 감소하였다. 따라서 주당 고추의 생체중도 과수와 같은 경향을 보였다. 특히 가는털비름에 의한 생체중 감소는 바랭이의 경우와는 달리 m^2 당 1본이 발생하여도 생체중이 감소되기 시작하였다. 이는 잡초와의 경합에 의해 주당 열린 고추 과수의 현저한 감소뿐만 아니라 비록 통계적 유의성은 없었지만 과특성에서 본 바와 같이 고추의 과장과 과경 등이 잡초와의 경합에 의해 줄어든 결과로 보인다.

바랭이 1본 발생시 건고추 수량은 0본에 비해 수량 감소는 없었고, 8본 발생시 62.2%, 24본 발생시 44.8%, 48본 발생시 22.4%, 96본 발생시 18.4% 정도의 수량을 나타내었다. 한편 가는털비름의 경우는 1본 발생시 건고추

Table 2. Yield of dried red pepper and characteristics of pepper fruits as affected by different densities of two weeds in pepper cultivation fields.

Weed species	Density (plant m^{-2})	Fruit length (cm)	Fruit diameter (mm)	Fruits (No. plant $^{-1}$)	Fresh fruit weight (g plant $^{-1}$)	Dried pepper yield (kg 10a $^{-1}$)
<i>D. ciliaris</i>	0	12.1a ^{a)}	22.7a	33.4a	584a	299a
	1	11.9a	21.5a	33.6a	588a	299a
	8	11.3a	21.3a	28.3ab	425b	186b
	24	11.3a	20.1a	21.7bc	306c	134c
	48	10.8a	20.9a	13.8cd	180d	67d
	96	10.6a	20.9a	11.5d	146d	55d
<i>A. patulus</i>	0	12.1a	22.7a	33.4a	584a	299a
	1	11.0a	20.0a	29.9a	460b	217b
	8	10.5a	19.7a	17.5b	268c	112bc
	24	11.9a	20.0a	12.4bc	173d	67cd
	48	11.5a	20.0a	9.1c	117d	45d
	96	11.3a	19.8a	7.5c	95d	35d

^{a)}The same letters in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 3. Weed free pepper yield (Y_0) and the competitiveness represented by parameter β , whose reciprocal $1/\beta$ is a weed density reducing pepper yield by 50% in pepper cultivated field.

Weed species	Parameter Estimate		R^2
	$Y_0(\text{kg } 10\text{a}^{-1})$	β	
<i>D. ciliaris</i>	304.7	0.0630	0.967
<i>A. patulus</i>	281.3	0.1723	0.952

수량이 0분에 비해 72.6%, 8분 발생시 37.5%, 24분 발생시 22.4%, 48분 발생시 15.1%, 96분 발생시 11.7% 정도의 수량을 나타내어 가는털비름에서 수량감수가 더 큰 것을 알 수 있었다. 이는 고추 밭에서 발생하는 주요 잡초 중 명아주 발생시 수량감수 정도는 가장 심했고, 피와 가는털비름은 비슷한 정도로 심했으며, 바랭이의 경우 수량감수는 적었다는 앞선 보고 결과(Won et al., 2011)와 일치하였다.

고추에 대한 잡초의 경합력

고추 주산지인 영양에서 바랭이와 가는털비름 밀도에 따른 건고추 수량감소는 재료 및 방법의 계산식(1)을 이용하였으며 잡초완전 방제시의 건고추 수량(Y_0)과 고추에 대한 잡초 경합력(β) 등을 Table 3에 제시하였다. Table 3에서 구해진 바랭이와 가는털비름의 완전 방제시 수량과 고추와의 경합력을 바탕으로 하여 바랭이와 가는털비름 밀도에 따른 고추 수량 감소 예측식을 Fig. 1에 나타내었다. 바랭이 및 가는털비름을 완전 방제 했을 경우를 가정한 건고추 수량은 바랭이에서 10a당 304.7 kg로 가는털비름의 281.3 kg에 비해 다소 높았으며, 고추와 잡초의 경합력은 바랭이에서 0.063으로 가는털비름의 0.1723 보다 낮아 Fig. 1에서 보는 바와 같이 바랭이의 밀도 증가에 따른 실측 및 예측 수량($y=304.7/(1+0.063x)$, $R^2=0.967$)과 가는털비름의 실측 및 예측 수량($y=281.3/(1+0.1723x)$, $R^2=0.952$)을 비교해 볼 때 잡초의 밀도가 증가할수록 차이가 커지는 경향을 보였다. 이는 고추와 잡초간의 경합에 있어서 잡초 초종에 따라 경합의 차이는 현저히 달라질 수 있고, 그 경합력이 클수록 수량 감수는 더욱 증가한다는 것을 알 수 있었다. 앞서 보고한 바(Won et al., 2011)에 따르면 고추밭에서 피의 경합력은 0.1707, 명아주는 0.2900으로 나타나서, 고추밭 문제잡초 중 명아주의 경합력이 가장 강하고, 피와 가는털비름의 경합력은 비슷하였고, 바랭이의 경합력이 가장 약했다.

고추와 잡초의 경합에 의한 수량 감수 예측 및 감수율

Fig. 1에서 구해진 고추와 잡초와의 경합에 의해 얻어진

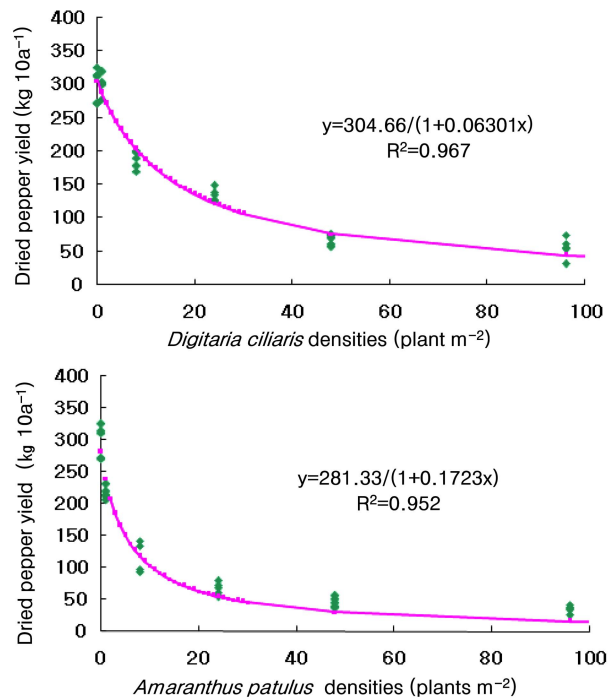


Fig. 1. Observed and predicted yield as a function of *Digitaria ciliaris* and *Amaranthus patulus* density in red pepper field. The predicted dried pepper yield (continuous line) was calculated using eqn 1 and parameter estimates in table 4. The dots represent the real dried pepper yield harvested in the eco-friendly cultivated fields.

모델식에 의해 잡초밀도에 따른 건고추의 예측 수량과 수량감소율을 계산한 결과를 Table 4에 나타내었다. 고추밭에서 바랭이가 m^2 당 1본만 존재하게 되어도 건고추 수량은 5.9%가 감수되었고 가는털비름과의 경합에서는 14.6%나 감수되었다. 바랭이는 잡초본수가 m^2 당 24본에서 50% 이상의 수량 감수를 보였으나, 가는털비름은 잡초 본수가 당 8본에서 50% 이상의 수량감수를 가져왔으며, 80%이상 수량 감소는 바랭이는 당 96본, 가는털비름은 m^2 당 24본 이상이었다. Song et al.(2009)에 의하면 밭에서 바랭이의 발생에 의한 콩수량 감수 정도는 m^2 당 145본일 때 50% 정도 감수된다고 보고하고 있어 고추에서의 수량감수가 더 심한 것을 알 수 있었다. 가는털비름에 의한 콩 수량은 최대 55% 정도 감수된다는 보고(LeRoy et al., 1977)가 있어 가는털비름 또한 고추의 수량 감수가 더 큰 것으로 나타나, 고추가 타 밭 작물에 비해 잡초에 의한 경합이 약한 것으로 사료되었다.

경제적 방제수준

현대의 소비자들이 농산물 안전성에 관심이 높아지면서 친환경 농산물을 많이 선호하고 있다. 특히 제초제에 대

Table 4. Prediction of dried pepper yields and reduction rate by the equation estimated in Fig. 1. as a function of *Digitaria ciliaris* and *Amaranthus patulus* in pepper cultivated field.

Weed density (plants m ⁻²)	0	1	2	3	4	8	24	48	96	192
<i>D. ciliaris</i>										
Predicted dried pepper yield(kg 10a ⁻¹)	305	287	271	257	244	203	121	76	43	23
Reduction Rate(%)	0	5.9	11.2	15.9	20.1	33.5	60.2	75.2	85.8	92.4
<i>A. patulus</i>										
Predicted dried pepper yield(kg 10a ⁻¹)	281	240	209	185	167	118	55	30	16	8
Reduction Rate(%)	0	14.6	25.5	34.0	40.7	57.9	80.5	89.2	94.3	97.1

Table 5. Parameter estimates and economic threshold (tE) of *Digitaria ciliaris* and *Amaranthus patulus* in pepper cultivated field.

Weed species	Parameter estimates and economic thresholds (tE)						
	C _h (₩ 10a ⁻¹)	C _a (₩ 10a ⁻¹)	Y ₀ (kg 10a ⁻¹)	P(₩ kg ⁻¹)	L	H	tE(No. 100 m ²)
<i>D. ciliaris</i>	6,500	20,000	304.7	8,000	0.0630	0.95	18.2
<i>A. patulus</i>	6,500	20,000	281.3	8,000	0.1723	0.95	7.2

*Abbreviation : Y₀: weed free pepper yield; P: value per unit of crop; L: proportion of yield loss per unit weed density; H: herbicide efficacy calculated as (efficacy/100); C_h: herbicide cost; Ca: application cost.

한 경각심이 높은 시대적 상황을 고려할 때 잡초 종류별 또는 재배양식별 잡초 밀도에 따른 고추와의 경합력을 구명하고 정확한 수량 감수 모델을 작성하고 그에 따른 경제적 방제수준을 제시하는 것은 농촌 노동력의 고령화 및 부족함에 따라 잡초를 방제할 것인가에 대한 판단 근거를 제공할 뿐 아니라 제초제의 무분별한 남용을 방지하는데도 일조할 것으로 생각된다. Table 5는 Cousens(1987)에 의해 개발된 계산식(2)를 이용하여 고추와 잡초와의 경합에 있어서 경제적 피해 한계 밀도를 산출하여 나타낸 것이다. 그 결과, 제초제 구입 비용은 10a당 6,500원이었고, 제초제를 살포하는데 소요되는 인건비 등은 10a당 20,000원, 건고추의 kg당 가격은 8,000원, 제초제의 방제가는 95%로 적용하였을 때 경제적 피해 한계 밀도는 잡초 완전 방제시 수량이 10a당 304.7kg이고, 잡초 1본당 수량 감수 정도가 0.063인 바랭이는 100m²당 18.2본, 잡초 완전 방제시 수량이 281.3kg이고 잡초 1본당 수량 감수 정도가 0.1723인 가는털비름은 100m²당 7.2본이었다. 가는털비름은 바랭이보다 경합력이 약 3배정도 높기 때문에 비록 경제적 방제 수준은 고추 밭에서 100m²당 7.2본 정도이지만 보이는 즉시 제거하거나 전체적으로 제초제를 처리해야만 고추의 경제적 피해를 줄일 수 있을 것으로 사료되었다. 이 결과 또한 앞서 보도되었던 결과(Won et al., 2011)와 비교 하면, 가는털비름은 피의 6.5본과 비슷한 경제적 방제수준을 보였고 명아주는 3.7본으로 경제적 방제수준의 본수는 가장 낮은 수준을 보여 고추 밭에서

가장 경제해야 할 잡초로 사료되었다.

요 약

2011년 경상북도 농업기술원 영양고추시험장 고추 친환경 재배포장에서 밭 잡초로 가장 문제시 되고 있는 잡초 중 바랭이와 가는털비름을 대상으로 잡초 밀도별 고추와의 경합력을 구명하고 Rectangular hyperbola 모델을 기초로 잡초의 밀도에 따른 건고추 수량 감소를 예측하여 경제적인 방제 필요수준을 구명하였다. 잡초를 완전 방제했을 경우를 가정한 건고추 수량은 바랭이에서 10a당 304.7kg으로 가는털비름의 281.3kg보다 다소 높았으며, 고추와 잡초의 경합력은 바랭이에서 0.063으로 가는털비름의 0.1723보다 낮았고, 수량 예측식은 바랭이가 $y=304.7 \text{ kg}/(1+0.063x)$, $R^2=0.967$, 가는털비름이 $y=281.3 \text{ kg}/(1+0.1723x)$, $R^2=0.952$ 로 나타났다. 제초제 구입 비용을 10a당 6,500원, 제초제 살포 인건비를 20,000원, 건고추의 가격을 kg당 8,000원, 제초제 방제가 95%로 적용하여 구한 경제적 피해 한계 밀도는 잡초 완전 방제시 수량이 10a당 304.7kg이고 잡초 1본당 수량 감수 정도가 0.063인 바랭이는 100m²당 18.2본, 잡초 완전 방제시 수량이 281.3kg이고 잡초 1본당 수량 감수 정도가 0.1723인 가는털비름은 100m²당 7.2본이었다.

주요어: 가는털비름, 고추, 바랭이, 수량 감소, 잡초 밀도

Acknowledgements

This study was financially supported by the project (Project number PJ007596) on "Development of practical-using technology for organic cultivation of major crops in Gyeongbuk province" from Rural Development Administration in Suwon, Republic of Korea.

References

- Berti, A. and Sattin, M. 1996. Effect of weed position on yield loss in soybean and a comparison between relation weed cover and other regression models. *Weed Res.* 36:249-258.
- Cousens, R.D. 1985. A simple model relating yield loss to weed density. *Annals Appl. Bio.* 107:239-252.
- Cousens, R.D. 1987. Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly* 2:13-20.
- Cowan, P.S., Weaver, E. and Swanton, C.J. 1998. Interference between pigweed (*Amaranthus spp.*), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), and soybean (*Glycine max.*). *Weed Sci.* 46:533-539.
- Genstat Committee. 1993. Reference Manual (Genstat 5.0, Released 3). Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kim, D.S., Brain, P., Marshall, E.J.P. and Caseley, J.C. 2002. Modelling herbicide dose and weed density effects on crop-weed competition. *Weed Res.* 42:1-13.
- Kropff, M.J. and Spitters, C.J.T. 1991. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of weeds. *Weed Res.* 31:97-105.
- Kropff, N.J., Lotz, L.A.P., Weaver, S.E., Bos, H.J., Wallinga, J. and Migo, T. 1995. A two-parameter model for prediction of crop loss by weed competition from early observations of relative area of weeds. *Annals of Appl. Bio.* 126:329-346.
- Kwon, O.D., Moon, B.C., An, K.N., Park, H.G., Shin, H.R. and Kuk, Y.I. 2009. Prediction of rice yield loss and economic threshold level by densities of *Cyperus difformis* in wet-seeded rice. *Kor. J. Weed Sci.* 29:167-177. (In Korean)
- Lindquist, J.L., Mortensen, D.A., Clay, S.A., Schmenk, R., Kells, J.I., Howatt, K. and Westra, P. 1996. Stability of corn (*Zea mays*)-velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference relationships. *Weed Sci.* 44:309-313.
- Holm, LeRoy G., Pluchnett, D.L., Pancho, J.V. and Herberger, J.P. 1977. The world's worst weeds distribution and biology published for the east-west center by the University press of Hawaii, Honolulu pp. 84-91.
- Shin, D.H. and Kim, K.H. 1983. Ecological characteristics of *Digitaria sanguinalis* in temperate climate. *Kor. J. Weed Sci.* 3:29-38. (In Korean)
- Song, S.B., Lee, J.S., Kang, J.R., Ko, J.Y., Seo, M.C., Woo, K.S., Oh, B.G. and Nam, M.H. 2009. The growth and yield of soybeans affected by competitive density of *Digitaria sanguinalis*. *Kor. J. Weed Sci.* 29:323-327. (In Korean)
- Song, S.B., Lee, J.S., Kang, J.R., Ko, J.Y., Seo, M.C., Woo, K.S., Oh, B.G. and Nam, M.H. 2010. The growth and yield of soybean as affected by competitive density of *Cuscuta pentagona*. *Kor. J. Weed Sci.* 30:390-395. (In Korean)
- Won, J.G., Ahn, D.J., Kim, S.J., Kwon, O.D., Moon, B.C. and Park, J.E. 2009. Yield losses and economic thresholds by density of *Bidens tripartita* and *Eclipta prostrata* in transplanted rice field. *Kor. J. Weed Sci.* 29:328-335. (In Korean)
- Won, J.G., Jang, K.S., Hwang, J.E., Kwon, O.H., Jeon, S.G. and Park, S.G. 2011. Competitiveness and yield loss of red Pepper by densities of *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. and *Chenopodium album* L. *Kor. J. Weed Sci.* 31:71-77. (In Korean)
- 양환승, 김동성, 박수현. 2004. 잡초 형태 · 생리 · 생태 합관화 류 II. 이천농업자원도서 pp. 462-465.
- 萩森福督. 1965. ‘메히시바의個生態’. 雜草研究 4:28-33.