

인산시비량이 쇠무릎의 생육, 건물수량 및 인산회수율에 미치는 영향

강영길*† · 고미라* · 강봉균* · 강시용** · 유장걸* · 류기중*

*제주대학교 농업생명과학대학, **한국원자력연구소 방사능이용육종연구소

Effect of Phosphorous Fertilizer Rate on Growth, Dry Matter Yield, and Phosphate Recovery in *Achyranthes japonica*

Young-Kil Kang*†, Mi-Ra Ko*, Bong-Kyoon Kang*, Si-Yong Kang**, Zang-Kual U* and Key-Zung Riu*

*College of Agriculture & Life Sciences, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

**Korean Atomic Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

ABSTRACT : To determine the optimum P_2O_5 rate for dry matter production of *Achyranthes japonica* Nakai, a medicinal plant, in Jeju island, plants were grown in 2001 under ten fertilizer treatments comprising of two N (90, and 180 kg/ha) and five P_2O_5 (0, 100, 200, 300, and 400 kg/ha) levels. Plant height, leaf length and width, stem diameter, and main root length and diameter were not significantly affected by P_2O_5 rate while P_2O_5 fertilization of 100 kg/ha increased the number of branches, spikes, and roots per hill by 18, 38 and 43%, respectively, compared with the unfertilized P_2O_5 treatment and decreased with further increases in P_2O_5 rate. The number of roots per hill was greatest with the application of 200 kg P_2O_5 . The highest utricle dry matter yield (2.92 t/ha) was obtained with the application of 100 kg P_2O_5 . However, as P_2O_5 rate increased from 0 to 100 and 200 kg/ha, root dry matter yield increased from 2.36 to 3.55, and 3.80 t/ha, and then decreased to 3.14, and 2.86 t/ha at 300, and 400 kg P_2O_5 rates, respectively. As P_2O_5 rate increased from 100 to 400 kg/ha, P_2O_5 recovery in above-ground parts decreased from 34.1 to 7.1%.

Keywords : *Achyranthes japonica*, medicinal plant, optimum P_2O_5 rate, P_2O_5 recovery, dry matter, growth characteristics.

쇠무릎(*Achyranthes japonica* Nakai)은 우리 나라의 평남이 남의 산야와 길가에 자생하는 비름과의 다년초로 일본, 대만, 중국 등지에서 분포되고 있으며 뿌리는 생약제인 우슬(牛膝)로 알려져 있는데, 주로 전남 장흥, 강진, 고흥, 경북 안동, 경남 함양 등에서 재배되고 있다(김, 2002). 쇠무릎의 뿌리에는 saponin, inokosterone, ecdysone, β -sitosterol, succinic acid, betain 등이 함유되어 있고, 鎮痛, 利尿, 鎮痙, 血壓降下 등의 약리작용이 있는 것으로 알려져 한방의 주요 약제로 쓰

이고 있으며, 어린순은 나물로 먹기도 한다(Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1998a; 이, 1979).

Ecdysone은 곤충 호르몬의 하나인 ecdysteroid의 일종이다. ecdysteroid는 곤충의 탈피를 촉진하는 활성을 가지고 있으며, 곤충 호르몬은 보통 매우 낮은 농도에서 작용하는데 만약 과량의 호르몬에 노출되면 곤충은 생리대사가 교란되어 기형이 되거나 죽게 되므로 해충방제에 이용될 수 있다(Boo *et al.*, 2001; Chae *et al.*, 2001). ecdysteroid는 곤충에서 처음 분리 동정되었으나 식물체 중에 함유되어 있는 수준이 곤충에서보다 훨씬 높다는 것이 밝혀졌으며 유기합성 비용이 많이 들기 때문에 식물에서 추출하고 있다. ecdysteroid는 쇠무릎의 뿌리 뿐만 아니라 경엽, 화기, 종자에도 함유되어 있는데 ecdysteroid 함량은 뿌리와 종자에 높은 편이었다(Boo *et al.*, 2002).

전라남도 농업기술원에서 생약을 생산할 목적으로 할 경우 파종기별 흑색비닐피복, 재식밀도, 유기질 비종이 쇠무릎의 생육 및 뿌리 수량에 주는 영향을 구명한 연구 등이 있으나(김, 2002; Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1998a & b), 인산시비량에 따른 쇠무릎의 생육 및 건물수량에 대한 연구는 아직 체계적으로 이루어지지 않은 것 같다. 이 연구에서는 생약(뿌리) 또는 ecdysteroid(뿌리+포과)를 생산할 목적으로 쇠무릎을 재배할 때 적정 인산 시비량을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

본 시험은 2001년 4월부터 11월까지 제주대학교 농업생명과학대학 연구실습센터 포장(33°27'20"N, 표고 277 m)에서 수행되었다. 시험 포장은 화산회토가 모재인 농암갈색 미사질양토로 시험전 표토(0~10 cm)의 화학적 특성은 Table 1과 같으며 비옥도가 다소 낮았다. 시험에 이용된 종자는 제주시 지역에서 자생하는 쇠무릎에서 채취하였다. 채취된 종자는 망사에 담아 2일간 흐르는 물에 침종한 후 4°C에서 10일간 냉장하였

†Corresponding author: (phone) +82-64-754-3316

(E-mail) ykkang@cheju.ac.kr <Received November 28, 2002>

Table 1. The initial chemical properties of surface soil (0~10 cm) at the experimental site.

pH (1:5)	Organic matter (g/kg)	Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)				EC (dS/m)
			Ca	Mg	K	Na	
4.46	36.9	72.6	0.48	0.21	0.46	0.12	0.14

고 25°C의 생장상에 1주일간 두었다가 파종하였다.

4월 25일에 20×10 cm 거리로 주당 3~4립씩 파종하였고, 파종 후 40일에 주당 2본이 되도록 솎았다.

질소는 90, 180 kg/ha의 2수준을 두었고 인산은 0, 100, 200, 300, 400 kg/ha의 5수준을 두었다. 질소와 가리는 각각 요소와 염화加里로 기비 50%, 추비 50% 비율로 사용하였고 인산은 용성인비로 전량을 기비로 사용하였다. 질소 및 가리 추비는 7월 24일과 8월 23일에 25% 씩 사용하였다.

시험구당 면적은 3.2 m²(휴장 2 m, 8휴)이었고, 시험구는 질소시비량을 주구, 인산시비량을 세구로 한 분할구 3반복으로 배치하였다.

8월 28일(개화전 13일)에 가장 큰 잎을 대상으로 엽장과 엽폭을 측정하였고, 성숙기인 11월 13일에 가운데 4줄에서 5주(10본)를 대상으로 초장(경장 + 화서장), 줄기, 화서, 포과, 뿌리 등의 특성을 조사하였고 뿌리수는 일차근과 마디에서 발생한 직경이 0.5 mm 이상의 부정근을 대상으로 조사하였다. 건물수량은 가운데 4줄에서 10주를 수확하여 포과와 경엽(화경 포함, 이하 경엽으로 표시)을 구분하여 3일간 70°C의 통풍건조기에서 건조하여 조사하였다. 건물수량을 조사한 시료에서 100 g 채취하여 분쇄기에서 분쇄하여 인산함량 분석에 이용하였다.

식물체 지상부의 인산함량은 유도결합플라즈마 원자방출발광광도계(inductively coupled plasma-atomic emission spectrophotometer, Jobin Yvon Jy138 Utrance, France)를 이용하여 분석하였다. 지상부의 인산수량(흡수량)은 건물수량에 인산함량을 곱하여 산출하였다. 인산회수율은 다음 식에 의하여 산출하였다.

인산회수율

$$= \frac{\text{인산시비구의 인산수량} - \text{무인산구의 인산수량}}{\text{인산시비량}}$$

결 과

질소시비량이 2수준으로 오차(error a)의 자유도가 2에 불과하여 질소시비량간의 차이를 신뢰성 있게 검정할 수 없으므로(채 등, 1987; Gomez & Gomez, 1884), 질소와 인산시비량간의 상호작용이 있는 형질에 대해서는 질소시비량별로, 상호작용이 없는 형질에 대해서는 질소시비량의 평균치를 가지고 인산시비의 효과를 설명하였다.

생육 특성

성숙기의 초장은 무인산구에서 99 cm이었는데, 인산 시비에 의하여 6~9% 증가되었으나 5% 수준에서 통계적인 유의성은 없었다(Table 2). 엽장과 엽폭은 각각 9.55 cm와 3.71 cm 내외로 인산시비량간에 유의한 차이가 없었다. 경직경도 4.5 mm 내외로 인산시비량간 유의한 차이는 없었다.

주당 분지수는 ha당(이하 생략) 질소 90 kg 시비구에서는 인산 100 kg 시비구에서 10.9개로 가장 많았고 그 이상 인산을 증시하는 경우 적어지는 경향이었으나 질소 180 kg 시비구에서는 8.8~10.2개로 인산시비량간 유의한 차이가 없었다(Table 5).

주당 화서수는 질소 90, 180 kg 시비구에서 모두 인산 100 kg 시비구가 각각 37.3, 47.3개로 가장 많았고, 그 이상 인산을 증시하는 경우 적어졌으며, 무인산구를 제외하고는 질소 90 kg 시비구에 비하여 질소 180 kg 시비구에서 인산시비의 효과가 컸었다. 화서당 포과수는 60개 내외로 인산시비량간 유의한 차이가 없었다.

건물수량 및 뿌리 특성

무인산구의 경엽수량은 질소 90 kg 시비구와 180 kg 시비구에서 각각 5.44, 5.36 t/ha이었던 것이 인산 100 kg 시비에 의하여 무인산구에 비하여 각각 53, 59% 증가되었다가 그 이상 인산을 증시하는 경우 감소되는 경향이었는데, 질소 90 kg 시비구에 비해 질소 180 kg 시비구에서 인산증시에 따른 감소폭이 적었다(Table 3 & 5). 인산시비량에 따른 포과수량 및 지상부 총건물수량도 경엽수량과 대체로 비슷한 경향이였다.

건근수량은 무인산구에서 2.36 t/ha이었던 것이 인산 100, 200 kg 시비구에서 각각 3.55, 3.80 t/ha으로 유의성 있게 증가하였다가 30, 40 kg 시비구에서는 3.14, 2.86 t/ha로 감소되었다.

주근장과 주근경은 각각 21.8 cm, 4.86 cm 내외로 인산시비량에 따른 유의한 차이가 없었다. 인산시비량에 대한 주당 뿌리수는 무인산구에서 12.9개이었던 것이 인산시비에 의하여 16.8~18.9개로 증가되었다.

지상부 인산 함량, 수량, 회수율

화경을 포함한 경엽의 인산함량은 무인산구에서 0.16%이었던 것이 인산 100 kg 시비에 의하여 0.36%로 크게 증가되었으나 그 이상 인산을 증시하였을 때에는 완만한 증가에 그쳤다(Table 4). 포과의 인산함량은 질소 90 kg 시비구에서는 인산 400 kg까지 증시할수록 증가하였으나 질소 180 kg 시비

Table 2. Growth characteristics of *Achyranthes japonica* at maturity as affected by application rates of N and P₂O₅.

Treatment	Plant length (cm)	Leaf length [†] (cm)	Leaf width [†] (cm)	Stem diameter (mm)	No. of branches per hill [‡]	No. of spikes per hill	No. of utricles per spike
N rate (kg/ha)							
90	105.5	9.31	3.70	4.79	9.14	33.3	61.3
180	104.6	9.80	3.72	4.29	9.79	36.7	58.0
P ₂ O ₅ rate (kg/ha)							
0	99.2	9.25	3.57	4.29	8.85	30.7	60.1
100	105.2	9.52	3.62	4.55	10.45	42.3	62.0
200	107.3	9.98	4.22	4.64	9.69	36.3	57.1
300	108.4	9.65	3.58	4.84	9.34	34.8	57.6
400	105.3	9.37	3.57	4.40	8.98	30.9	61.3
LSD (5%)	NS	NS	NS	NS	1.10	3.0	NS
Analysis of variance							
N rate (N)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P ₂ O ₅ rate (P)	NS	NS	NS	NS	NS*	NS***	NS
N×P	NS	NS	NS	NS	NS*	NS**	NS
CV (error a, %)	15	6	16	10	21	23	11
CV (error b, %)	6	6	15	7	10	7	11

*, ***, Significant at the 5 and 0.1% probability levels, respectively; NS, not significant.

[†] Measured on 29 August (at 13 days before flowering).

[‡] Two plants per hill.

Table 3. Dry matter yield and root characteristics of *Achyranthes japonica* at maturity as affected by application rates of N and P₂O₅.

Treatment	Dry matter yield (t/ha)			Roots	Main root length (cm)	Main root diameter (mm)	Primary & nodal roots per hill [†]
	Stovers	Top Utricles	Total				
N rate (kg/ha)							
90	6.26	2.34	8.60	2.92	21.4	4.95	16.7
180	7.41	2.47	9.88	3.36	22.1	4.76	17.4
P ₂ O ₅ rate (kg/ha)							
0	5.40	1.94	7.34	2.36	20.7	4.32	12.9
100	8.42	2.92	11.34	3.55	21.3	4.89	18.5
200	7.36	2.53	9.89	3.80	22.4	5.14	18.9
300	6.97	2.40	9.39	3.14	23.0	5.17	18.2
400	6.04	2.23	8.26	2.86	21.6	4.77	16.8
LSD (5%)	0.89	0.46	1.04	0.60	NS	NS	3.7
Analysis of variance							
N rate (N)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P ₂ O ₅ rate (P)	***	**	***	***	NS	NS	*
N×P	*	*	**	NS	NS	NS	NS
CV (error a, %)	18	33	21	16	14	17	11
CV (error b, %)	11	15	9	15	9	12	17

*, **, ***, Significant at the 5, 1 and 0.1% probability levels, respectively; NS, not significant.

[†] Two plants per hill.

구내에서는 인산 300 kg까지 증비할수록 증가되었다가 인산 400 kg 시비구에서는 0.96%로 감소되어 질소와 인산시비간 상호작용이 유의하였다(Table 5).

경엽의 인산수량은 인산 200 kg 시비구에서 32.4 kg/ha, 포과는 인산 100 kg 시비구에서 26.0 kg/ha으로 가장 많았고, 지상부의 총인산수량은 인산 100 kg 시비구에서 71.4 kg/ha로 가

Table 4. Phosphate content, yield, and recovery of aboveground parts in *Achyranthes japonica* at maturity as affected by application rates of N and P₂O₅.

Treatment	P ₂ O ₅ content (%)		P ₂ O ₅ yield (kg/ha)			P ₂ O ₅ recovery (%)		
	Stovers	Utricles	Stovers	Utricles	Top	Stovers	Utricles	Top
N rate (t/ha)								
90	0.40	0.94	25.2	21.7	57.2	11.6	3.5	15.1
180	0.37	0.94	28.2	23.4	65.5	11.8	7.8	19.6
P ₂ O ₅ rate (t/ha)								
0	0.16	0.75	8.9	14.4	33.3	—	—	—
100	0.36	0.89	31.2	26.0	71.4	22.4	11.7	34.0
200	0.41	0.99	32.4	24.9	70.5	11.8	5.3	17.1
300	0.45	1.05	31.6	25.1	70.2	7.6	3.6	11.2
400	0.49	1.02	29.3	22.5	61.2	5.1	2.0	7.1
LSD (5%)	0.12	0.08	11.2	4.5	9.7	10.4	2.0	10.0
Analysis of variance								
N rate (N)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P ₂ O ₅ rate (P)	***	***	**	**	***	*	***	***
N×P	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
CV (error a, %)	65	8	81	28	35	120	24	77
CV (error b, %)	27	7	34	16	13	71	28	46

*, **, *** Significant at the 5, 1 and 0.1% probability levels, respectively; NS, not significant.

Table 5. The number of branches and spikes per hill[†], dry matter yield of top, and P₂O₅ content and recovery of utricle in *Achyranthes japonica* at maturity as affected by application rates of N (90 and 180 kg/ha) and P₂O₅.

P ₂ O ₅ rate (kg/ha)	No. of branches		No. of spikes		Dry matter yield (t/ha)						P ₂ O ₅ content (%)		P ₂ O ₅ recovery (%)	
					Stovers		Utricles		Top					
	90	180	90	180	90	180	90	180	90	180	90	180	90	180
0	8.96	8.75	32.2	29.2	5.44	5.36	2.31	1.57	7.75	6.92	0.73	0.76	-	-
100	10.91	9.99	37.3	47.3	8.33	8.51	2.90	2.94	11.23	11.45	0.83	0.95	7.2	16.1
200	9.38	10.00	35.8	36.8	6.54	8.17	2.40	2.66	8.94	10.83	1.00	0.98	3.5	7.1
300	8.69	9.99	33.4	36.2	6.36	7.58	2.18	2.61	8.55	10.19	1.07	1.02	2.2	4.9
400	7.77	10.20	27.6	34.1	4.64	7.43	1.90	2.55	6.55	9.98	1.08	0.96	1.0	3.1
LSD (5%)	1.53 [‡]		4.2		1.23		0.63		4.31		0.11		2.1	

[†]Two plant per hill

[‡]For comparing P₂O₅ rate means for the same N rate.

Table 6. Regression equations with coefficients of determination relating stover P₂O₅ content at maturity and dry matter yields, and the calculated optimum P₂O₅ content for maximum dry matter yields.

Plant part	Regression equation	R ²	Optimum P ₂ O ₅ content (%)
Stovers	Y = 44.91 + 4048.3X - 5621.3X ²	0.522	0.36
Utricles	Y = 17.07 + 1462.1X - 2077.1X ²	0.637	0.35
Top	Y = 61.98 + 5510.4X - 7698.4X ²	0.568	0.36
Roots	Y = 29.65 + 1648.8X - 2139.3X ²	0.379	0.39

장 많았으며 그 이상의 시비구에서는 낮아졌는데, 이는 건물 수량이 인산 100 kg 시비구에서 가장 많았었기 때문이다.

경엽의 인산회수율은 인산을 100 kg에서 400 kg으로 증가시 킴에 따라 22.4%에서 5.1%로 감소되었고, 포과의 인산회수율

은 질소 90 kg 시비구에서 7.2%에서 1.0%로 감소되었던 반면 질소 180 kg 시비구내에서는 16.1%에서 3.1%로 감소되었다. 포과의 인산회수율이 질소 100 kg 시비구에 비하여 180 kg 시 비구에서 현저히 높았던 것은 질소 180 kg 시비구에서 포과의

건물수량이 많아 인산수량이 많았기 때문이다. 지상부의 인산 회수율은 100 kg 시비구에서 34.0%이었던 것이 인산 400 kg 시비구에서는 7.1%로 감소되었다.

고 찰

인이 결핍되면 식물전체의 생장이 저해되어 矮生이 되고, 화 곡류에서는 분얼이 저해는 것으로 알려져 있다(박 등, 1982). 이 시험이 수행되었던 포장의 유효인산이 73 mg/kg이었는데 (Table 1) 무인산구에 비하여 인산 100 kg 시비에 의하여 초장, 엽장, 엽폭, 경직경, 화서당 포과수 등이 1~6% 증가에 그쳤으나 주당 분지수 및 화서수는 각각 18, 38% 증가되어 쇠무릎 이 인에 대한 반응은 형질에 따라 다른 것 같다. Han *et al.*(1972)도 Korean lespedeza에 있어서 무비구에 비하여 인산 184 kg/ha 시비에 의하여 초장은 다소의 증가에 그치었으나 분지수, 엽수, 경직경은 현저히 증가되었다고 보고하였다.

무인산구에 비하여 인산 100 kg/ha 시비에 의하여 지상부와 뿌리 건물수량이 각각 54, 50% 증가되었으나 100 kg 시비구에 비하여 200 kg 이상 시비구에서 지상부 건물수량이 감소되었던 것은 철 또는 아연의 결핍에 때문일 것 같다(Jones, Jr. *et al.*, 1991). 식물체의 인산함량이 높을 경우 식물체내에 철의 용해도를 감소시키며, 아연의 흡수와 대사를 방해할 수 있다고 한다(Jones, Jr. *et al.*, 1991). 뿌리의 건물수량은 인산 100 kg 시비구에 비하여 200 kg 시비구에서 유의성은 없지만 다소 많았던 것은 쇠무릎의 경우 뿌리가 지상부보다 인산 요구도가 높은 것 같다. 일반적으로 인산 시용은 지상부 성장보다 뿌리 성장을 더 촉진시켜 T/R률을 낮추는 것으로 알려져 있으나(Marschner, 1995), 이 시험에서는 T/R률이 2.6~3.2로 큰 차이는 없었다.

작물의 적정 인산함량은 작물의 종류, 식물체 부위, 생육시기 등에 따라 다른데, 최근 성숙된 잎의 경우 건물중의 0.46~0.92%로 알려져 있다(Jones, Jr. *et al.*, 1991). Marschner (1995)은 영양생장기간에 최적 생육을 위한 건물 기준 인산함량은 0.69~1.15%이었다고 하였다. 이 시험에 있어서 성숙기에 있어서 경엽, 포과, 뿌리의 최대건물수량을 올릴 수 있는 성숙기 경엽의 인산함량은 0.35~0.39%로 추정되었는데(Table 7), 잎의 적정인산함량은 이보다 높을 것이다.

쇠무릎의 지상부의 인산회수율은 인산 100 kg 시비구에서 34%이었던 것이 200 kg 시비구에서 17.1%, 400 kg 시비구에서는 7.1%로 크게 낮아졌다. Benbi & Biswas(1999)도 적정 인산시비량 이상 시비구에서 밀과 옥수수의 인산회수율이 낮아졌다고 보고하였다.

제주도 발토양의 평균 유효인산 함량이 1985~1988년에 조사했을 때에는 84 mg/kg이었던 것이 1995~1999년에 조사했을 때에는 인산비료의 다량 사용으로 인하여 382 mg/kg로 크게 증가되었다(농업과학기술원, 2000). 인산이 과잉 축적된 토양

에서도 始發肥로 30 kg/ha를 발작물에 주도록 추천하여 왔으나 700 mg/kg이상이면 무인산 재배가 가능하다고 한다(농업과학기술원, 2000). 전남도 농업기술원에서 추천하는 인산 시비량은 210 kg/ha인데(김, 2002), 이 시험 결과의 포과 및 뿌리 건물수량, 인산회수율, 제주도 발토양의 유효인산함량 등을 고려할 때 적정 인산시비량은 100 kg/ha 내외로 판단된다.

적 요

제주도에서 쇠무릎을 생약(뿌리) 또는 ecdysteroid(뿌리+포과)를 생산하기 위하여 재배할 경우 적정 인산시비량을 구명하고자 질소시비량 2수준(90, 180 kg/ha)과 인산시비량 5수준(0, 100, 200, 300, 400 kg/ha)에서 시험하였던 결과는 다음과 같다.

초장, 엽장, 엽폭, 경직경, 화서당 포과수, 주근장, 주근경은 인산시비량에 유의한 영향을 받지 않았는데, 주당 분지수와 화서수는 무인산구에 비하여 인산 100 kg/ha 시비에 의하여 각각 18, 38% 증가되었으나 인산 200 kg 이상 시비구에서 감소되는 경향이였다. 주당 뿌리수는 인산 200 kg에서 18.9개로 가장 많았다. 포과건물수량은 인산 100 kg시비구에서 2.92 t/ha로 가장 많았고 200 kg 이상 시비구에서 감소되었다. 건근수량은 무인산구에서 2.36 t/ha이었던 것이 인산 100, 200 kg 시비구에서 각각 3.55, 3.80 t/ha으로 유의성 있게 증가하였다가 300, 400 kg 시비구에서는 3.14, 2.86 kg로 감소되었다. 지상부의 인산회수율은 인산 100 kg 시비구에서 34.0%이었던 것이 400 kg 시비구에서는 7.1%로 감소되었다.

사 사

이 연구는 2001년도 과학기술부·한국과학재단 지정 제주대학교 아열대원예산업연구센터의 지원에 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

인용문헌

- Benbi, D. K. and C. R. Biswas. 1999. Nutrient budgeting for phosphorus and potassium in a long-term fertilizer trial. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 54(2) : 125-132
- Boo, K. H., S. M. Kim, S. B. Jin, H. B. Chae, D. S. Lee, D. W. Kim, M. J. Cho, and K. Z. Riu. 2001. Isolation of genes involved in ecdysteroids biosynthesis from *Achyranthes japonica* Nakai. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 44(3) : 153-161.
- Boo, K. H., C. H. Pham, D. W. Kim, S. B. Jin, D. S. Lee, G. L. Jeon, M. J. Cho, and K. Z. Riu. 2002. Dynamic changes of the 20-hydroxyecdysone level in plant tissue parts of *Achyranthes japonica* Nakai during its life cycle. 한국농화학회 춘계학술대회발표논문 초록집. P. 121.
- Chae, H. B., K. H. Boo, S. B. Jin, D. S. Lee, D. W. Kim, M. J. Cho, and K. Z. Riu. 2001. Effects of light and some plant growth regula-

- tors on ecdysteroids contents in *Polypodium vulgare* L. and *Achyranthes japonica* Nakai. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 44(3) : 162-166.
- 채영암, 구자옥, 서학수, 이영만. 1987. 기초 생물통계학. 향문사, 서울. p. 242.
- Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1884. Statistical proceures for agricultural research. 2nd ed. Jone Wiley & Sons, Inc. New York. p. 15.
- Han, K. Y., C. J. Kim, H. S. Chae, and I. S. Yun. 1972. Effects of N, P₂O₅, K₂O and CaO application on the growth, yields and plant components of Korean lespedeza (*Lespedeza stipulacea* Maxim) and on the soil components. *Korea J. Anim. Sci.* 14(4) : 283-287
- Jones, Jr., J. Benton, B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. 1. Methods of Plant Analysis and Interpretation. Micro-macro Publishing Inc., Athens, Georgia. pp. 3-17.
- 김명석. 2002. 우슬재배법확립(http://http://www.jares.go.kr/main_2_2.html).
- Kim, M. S., B. J. Chung, G. C. Park, T. D. Park, S. C. Kim, and J. H. Shim. 1998a. Effect of organic fertilizers on growth and yield of *Achyranthes japonica* N. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 6(2) : 131-136.
- Kim, M. S., B. J. Chung, G. C. Park, T. D. Park, S. C. Kim, and J. H. Shim. 1998b. Effect of planting density on the growth characteristics and root yield of *Achyranthes japonica* N. *Korean Medicinal Crop Sci.* 6(2) : 137-141.
- Kim, M. S., G. C. Park, B. J. Chung, T. D. Park, C. C. Kim, and J. H. Shim. 1997. Effects of sowing dates and black P.E. film mulching on the growth and yield in *Achyranthes japonica* N. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 5(2) : 91-94.
- 이창복. 1979. 대한식물도감. 향문사, 서울. p. 322.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, CA. pp. 227-312.
- 농업과학기술원. 2000. 발토양환경보전관리기술 종합보고서(1995-1999). 상록사. pp. 106-147.
- 박종성, 조재영, 이은용, 조동삼, 변종영, 이석순, 최관삼. 1982. 신계 작물생리학. 향문사, 서울. pp. 142-175.