

# Pigs hoof 가수분해물의 이화학적 및 작물 생육에 미치는 효과

한상균 · 조천희<sup>1\*</sup> · 전한기<sup>1</sup>

농촌진흥청 농자재관리과, <sup>1</sup>(주)카프코 생물화학연구소

## Effect of the Hydrolysate of Pigs Hoof on Plant Growth and Physico-chemical Properties

Sang-Gyun Han, Chun-Hwi Cho<sup>1\*</sup>, and Han-Ki Jeon<sup>1</sup>

Agro-materials Management Division, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea

<sup>1</sup>KAFCO Bio-Chemistry Research Institute, KAFCO, Chungbuk 373-831, Korea

This study was conducted to find the physico-chemical properties and the amino acid content of the pigs hoof hydrolysate, keratin protein and to investigate its fertilizer effect on the growth of crops. The keratin proteins such as pigs hoof were alkali-hydrolyzed to produce the hydrolysates. The chemical properties of the hydrolysate of pigs hoof was 6~7 of pH and 10~15 dS m<sup>-1</sup> of EC. Total amino acid contents released from the pigs hoof were 10.18%, respectively. The pot experiment was carried out for the cultivation of lettuce. The treatment design of these pot cultivation was composed of Control (compost + NPK), PHH-0.5, PHH-1.0, PHH-2.0 (×2,000 ; 1,000 ; 500 diluted solution of pig hoof hydrolysate). After lettuce cultivation, the pH values in all treatment soils were decreased than those in initial soils, and the exchangeable cation value was higher than that of control. In all PHH treatments, lettuce growth was better in the leaf length by 6~16% and the leaf width by 4~15% than in control. Therefore, the PHH solutions manufactured by hydrolysis process had plenty of amino acids, and among them PHH had the most abundant nutrients and amino acids with highest growth and yield effect on lettuce.

**Key words:** Pigs hoof, Hydrolysis, Amino acid fertilizer, Lettuce

## 서 언

아미노산은 농업 분야에서도 이용 가능성이 매우 큰 자원이다. 작물은 주로 무기태질소를 흡수하지만, 아미노산과 아미드는 작물에 그대로 흡수되는 것도 가능하다 (Kim and Kim, 2002; Yang et al., 1998). 또, 아미노산의 시비로 인하여 토양 중 질소이용율이 증가하고, 작물의 성분 함량 및 엽록소, 생체중, 건물중 등이 증가하기도 한다 (Kim et al., 2003). 또한, 아미노산은 작물 뿐 아니라 미생물도 쉽게 이용하므로 유용미생물 번식에도 유리하다 (Kim and Kim, 2006).

한편, 많은 식물 중에서, 시용한 아미노산을 비교적 높은 비율로 흡수 이용한다는 것이 보고된 바 있다 (Kielland, 1994; Lipson and Monson, 1998; Persson and Nasholm, 2001a; Persson and Nasholm, 2001b; Schmit and Stewart,

1999). 더욱이 아미노산 트랜스포터가 몇 가지의 식물 중에서 동정되었고, 아미노산 흡수의 메커니즘에 대한 연구도 진행되고 있다 (Frommer et al., 1993; Montamat et al., 1999; Neelam et al., 1999; Persson and Nasholm, 2002; Persson and Nasholm, 2003; Zhou et al., 1999). 특히, Morita et al. (2004)에 따르면, 차나무는 뿌리에서 아미노산을 그 형태 그대로 매우 적극적인 흡수를 하며, 흡수 후에는 질소를 지상부로 신속하게 이동시킨다고 하였다.

이와 같이, 토양 중의 아미노산은 식물과 미생물에 필요한 질소원이 될 수 있을 뿐 아니라, 점토 또는 humus colloid에 흡착되거나 환원당, quinone 등과 반응하고, 금속과의 chelate 화합물을 형성하는 등, 토양에서의 화학적·생물학적 반응에 중요한 역할을 할 수 있다 (Yang et al., 1998). 그러나 아미노산이 작물 생육에 미치는 영향에 대한 연구는 아직도 매우 부족한 실정이다.

본 실험은 연간 약 900여 톤 이상 발생하는 (2007년 기준) 케라틴 단백질인 Pigs hoof를 알칼리 가수분해한 분해물의 아미노산 함량을 알아보고, 작물의 생육에 미치는 영향을 평가함으로써, 식물환경 연구에 관한 기초자료로 활

접수 : 2011. 3. 17 수리 : 2011. 4. 12

\*연락처 : Phone: +82437320004

E-mail: kafco1002@hotmail.com

용하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

**시료 전처리 및 화학성** 본 실험에 이용한 Pigs hoof는 건조기에서 105°C로 약 72시간 동안 건조시킨 후 조쇄 및 분쇄한 다음, 입경 2 mm 이하의 것만을 시료로 사용하였다.

가수분해는 알칼리 가수분해 방법을 이용하였다. 가열교반기에 1 L 비커를 올려놓고, 그 위에 환류냉각장치를 설치하였다. 비커에서 냉각관 이외의 외부로는 수증기와 가스 등이 배출되지 않도록 밀폐시켰으며, 온도 조절을 위하여 온도계를 설치하였다.

Figure 1에 나타낸 실험과정과 같이 비커에 시료와 물을 넣어 가열 교반을 개시하고, 약 1시간 경과 후 알칼리인 Ca(OH)<sub>2</sub>를 첨가하여, 90°C 이상에서 3시간 동안 가수분해하였다. 이후에 가열을 중단하고 인산을 이용하여 알칼리성인 분해물을 pH 5~6의 약산성으로 중화하였다. 인산칼슘 침전으로 분해를 위해 투입한 산과 알칼리를 감압여과를 통해 제거함으로써 최종적으로 액상의 가수분해물을 얻었다.

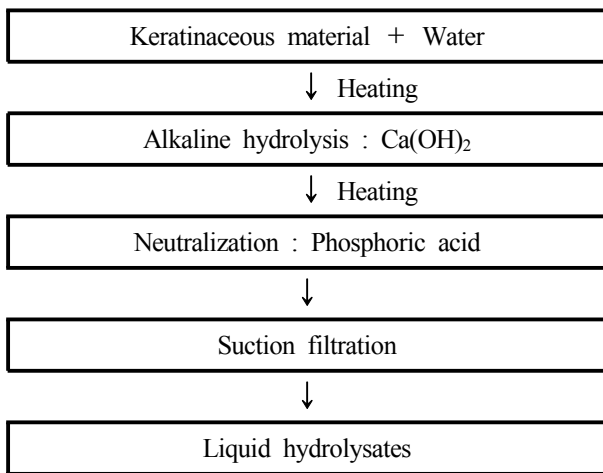


Fig. 1. Experiment process for hydrolysis.

**시료의 화학성 및 아미노산 분석** 시료의 무기원소 분석은 HClO<sub>4</sub>로 분해한 후, ICP-OES (PE-Optima 3300DV, Perkin-Elmer)와 원자흡수분광기 (AA-6800, Shimadzu)로 측정하였으며, 시료의 화학성 분석은 수분은 가열감량법, 유기물은 회화법, 질소는 Kjeldahl법을 이용하였다. 아미노산 분석은 (주)과학기술분석센터에 의뢰하여 산안정계열 아미노산, 합황 아미노산, 트립토판으로 나누어, Amino acid analyzer 및 HPLC로 분석하였다.

**상추 포트재배시험** 상추에 대한 가수분해물의 사용 효과는 유리온실 내에서 1/5000a Wagner pot로 수행하였다. 공시시료는 Pigs hoof 가수분해물이며, 공시토양은 충남대학교 농업생명과학대학 부설농장의 토양을 사용하였다. 공시작물의 품종은 H종묘사에서 생산되는 자치마상추를 이용하였으며, 품진토양 3 kg을 pot에 동일하게 충전하여, 난괴법 3반복으로 수행하였다. 표준시비량에 따라서 퇴비는 전량 밀거름으로, 화학비료는 밀거름과 추비거름으로 나누어 사용하였다. 공시작물인 상추는 상추묘 정식 후, 40일 동안 재배하였다. 처리구는 Table 1에 나타낸 바와 같이 설정하였다. 정식 후 15, 25, 35일째에 공시시료를 3회 엽면에 시비하였으며, 처리량은 희석액을 기준으로 50 mL 씩 처리구별로 동일하게 시비하였다.

**토양 화학성과 작물 생육조사 및 식물체 분석** 토양은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (1988)을 이용하였다. pH와 EC는 1:5법, 유기물은 Tyurin법, 총질소 Kjeldahl법, 암모니아태 질소는 정량중류법, 유효인산은 Bray No.1 법, 치환성 양이온 (K, Na, Ca, Mg)은 1N NH<sub>4</sub>OAc로 1시간 진탕 후 원자흡수분광기 (AA-6800, Shimadzu)로 분석하였다. 가수분해물을 처리한 후 5일째에 상추의 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소 함량, 생체중, 건물중 등을 3회에 걸쳐 조사하였다. 식물체는 농촌진흥청의 식물체분석법에 따라, HClO<sub>4</sub>로 분해한 후 원자흡수분광기 (AA-6800, Shimadzu)로 무기성분 (K, Ca, Mg, P)을 분석하였다.

Table 1. Treatments and fertilization background.

Treatments	Amount of applied fertilizer		Amount of compost	Dilution ratio		
	Basal dressing	Additional fertilizer		1st	2nd	3rd
	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O, kg 10a <sup>-1</sup>		kg 10a <sup>-1</sup>			
Control				-	-	-
PHH* -0.5	5-5-4	5-0-4	1,000	2,000	2,000	2,000
PHH-1.0				1,000	1,000	1,000
PHH-2.0				500	500	500

\*PHH: Pigs hoof hydrolysate.

**Table 2. Chemical properties of keratinaceous material (dry weight).**

Materials	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mo	Fe	Cu	Zn
	----- % -----										
Pigs hoof	14.2	0.75	3.25	0.67	1.04	0.02	0.01	ND*	ND	ND	0.003

\*ND: Not detected.

**Table 3. Density and chemical properties of keratinaceous hydrolysate.**

Materials	Density	pH	EC	T-N	Amino-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
	Mg m <sup>-3</sup>		dS m <sup>-1</sup>	----- % -----					
Pigs hoof	1.04	6.15	10.5	2.40	1.38	0.14	0.17	0.10	0.01

**Table 4. Amino acids content of hydrolysate.**

Acidity	Amino acids	Pigs hoof
		%
Acidic	Aspartic acid	1.05
	Glutamic acid	1.98
Basic	Arginine	0.53
	Histidine	0.31
	Lysine	0.40
	Threonine	0.07
	Serine	0.11
	Proline	0.38
	Glycine	1.26
	Alanine	0.75
	Valine	0.60
	Neutral	Isoleucine
Leucine		1.03
Tyrosine		0.60
Phenylalanine		0.46
Cystine		0.09
Methionine		0.12
Tryptophan		0.08
Total		10.18

## 결과 및 고찰

**가수분해물의 이화학적 및 아미노산 함량** Pigs hoof의 유기물 함량은 43.6% (dry weight)로 조사되었다. 그리고 Table 2에 나타난 바와 같이 pigs hoof의 화학성을 분석한 결과 질소 함량은 14.2%였으며, K<sub>2</sub>O는 3.25%, MgO는 1.04%를 나타내었다. 이외의 성분들은 모두 1% 미만으로 분석되었다.

액상 가수분해물의 이화학적 특성은 Table 3과 같다. Pigs hoof 가수분해물의 pH는 5.15였으며, EC는 10.5 dS m<sup>-1</sup>, 비중은 1.04 Mg m<sup>-3</sup>로 측정되었다. 또한 질소 전량은 2.40%, 아미노산태 질소 함량은 1.38%였으며, 이외의 성분은 모두 1% 미만으로 분석되었다. 특히 인산 및 Ca(OH)<sub>2</sub>의 인위적 첨가에도 불구하고, 인산 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)과 칼슘 (CaO) 함량은 0.24, 0.10%로 분석된 바, 대부분이 인산칼슘으로 반응하여 제거된 것으로 판단되었다.

Pigs hoof 가수분해물의 아미노산 조성 분석결과는 Table 4에 나타난 바와 같다. 18종 아미노산의 총 함량은 10.18%로 분석되었다. 특히, 산성 아미노산인 aspartic acid와 glutamic acid의 함량이 1~2%로 조사되어 비교적 높은 특성을 보였으며, 중성 아미노산 중에서는 glycine, alanine, leucine이 다른 아미노산에 비해 높은 함량을 나타내었다.

**상추 재배시험 후 토양 화학성 변화** Table 5와 같이 토양 내 pH는 무처리구인 Control을 제외한 모든 처리구에서 초기 토양에 비해 약간씩 감소하는 결과를 보였는데, 이것은 가수분해물의 pH가 6.15~6.62로 낮았기 때문인 것으로 추정된다. Pigs hoof 가수분해물의 질소 함량이 2.4%로 가장 높았지만, 토양 내 총질소는 처리구간에 큰 차이를 보이지 않았다.

유기물 함량은 가수분해물 처리구에서 증가하는 경향이었으며, PHH-2.0 처리구가 1.61%로 가장 높은 결과를 나타냈다. 유효인산 역시 Control보다 가수분해물 처리구에

**Table 5. Chemical properties of the soil after lettuce cultivation.**

Treatments	pH	T-N	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation			CEC <sup>†</sup>
					Ca	Mg	K	
	(1:5)	----- % -----	-----	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Initial	6.86	0.08	1.13	210	7.64	6.43	0.80	
Control	6.98	0.08	1.32	129	6.41	5.62	0.28	12.3
PHH-0.5	6.77	0.07	1.52	153	6.47	5.72	0.32	12.6
PHH-1.0	6.70	0.08	1.59	162	6.52	5.74	0.34	12.7
PHH-2.0	6.64	0.09	1.61	169	6.54	5.75	0.38	12.7

<sup>†</sup>CEC: Cation exchange capacity.

**Table 6. The changes of growth during lettuce cultivation.**

Treatments	Leaf length			Leaf width			Leaf number			Chlorophyll		
	1st <sup>†</sup>	2nd <sup>‡</sup>	3rd <sup>§</sup>	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
	----- cm -----			----- cm -----			----- ea -----			----- mg 100 cm <sup>2</sup> -----		
Control	17.8	19.5	20.5	9.2	10.2	11.9	4.7	5.0	6.7	2.1	2.7	2.8
PHH-0.5	19.2	20.5	21.8	9.3	10.6	12.4	5.0	5.7	6.0	2.2	2.8	3.1
PHH-1.0	20.0	22.7	23.3	9.8	11.1	13.5	5.7	5.7	6.3	2.3	2.9	3.2
PHH-2.0	20.1	23.3	23.8	9.9	11.2	13.7	5.7	5.7	6.7	2.3	2.9	3.3

<sup>†</sup>1st: Feb. 3, <sup>‡</sup>2nd: Feb. 13, <sup>§</sup>3rd: Feb. 23.

**Table 7. The changes of fresh and dry weight during lettuce cultivation.**

Treatments	Fresh weight						Dry weight					
	1st <sup>†</sup>	2nd <sup>‡</sup>	3rd <sup>§</sup>	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
	----- g ear <sup>-1</sup> -----			----- Index -----			----- g ear <sup>-1</sup> -----			----- Index -----		
Control	9.23	9.83	12.6	100	100	100	0.62	0.66	0.85	100	100	100
PHH-0.5	9.60	10.8	13.4	104	109	106	0.67	0.71	0.90	108	107	106
PHH-1.0	10.2	11.2	14.4	110	113	114	0.71	0.76	0.97	114	115	114
PHH-2.0	10.3	11.3	14.8	112	115	117	0.73	0.77	0.99	118	116	117

<sup>†</sup>1st: Feb. 3, <sup>‡</sup>2nd: Feb. 13, <sup>§</sup>3rd: Feb. 23.

서 더 높은 결과를 보였으며, 인산 함량이 0.14%로 가장 높은 Pigs hoof 가수분해물을 500배로 희석하여 처리한 PHH-2.0 처리구가 169 mg kg<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 치환성양이온은 Control보다 가수분해물을 처리한 모든 처리구에서 증가하는 결과를 보였는데, 가수분해물이 함유하고 있는 Ca, Mg, 그리고 K에 의해 증가한 것으로 보인다.

**상추 생육 및 수량 특성** 상추 생육 과정 중 엽장, 엽폭, 엽수 및 엽록소 함량 변화와 생체중 및 건물중을 Table 6과 7에 나타냈다. 상추 생육기간은 40일로 정식 후 20일째부터 10일 간격으로 2월 3일, 13일, 23일에 총 3회 생육 및 수량 조사를 실시하였다. 또한 상추의 생육상태를 Fig. 2에 제시하였다.

Control와 Pigs hoof 가수분해물 처리구간의 생육특성을 비교하면, Control보다 가수분해물 처리구에서 우세한 생육특성을 보였다. 엽장의 경우 가수분해물을 처리한 처리구가 Control보다 6~16% 정도 우세한 경향을 나타냈다. Pigs hoof 가수분해물 희석액 농도가 높을수록 증가하는 경향을 보였으며, PHH-2.0 처리구가 23.8 cm로 가장 높은

결과를 보였다. 엽폭도 가수분해물을 처리한 모든 처리구가 Control보다 4~15% 정도 증가하는 경향을 나타냈으며, PHH-2.0 처리구가 13.7 cm로 가장 높은 결과를 나타냈다. 엽록소 함량 역시 가수분해물 처리구가 Control보다 11~18% 정도 증가되는 경향을 보였으며, Pigs hoof 가수분해물 500배 희석액 처리한 PHH-2.0 처리구가 3.3 mg 100 cm<sup>-2</sup>로 가장 높은 결과를 나타냈다. Rabb et al. (1996)은 아미노산이 철과 킬레이트되었을 경우 녹변, 갈변 등을 예방하고 총수량도 증가시키며, Fe, Zn, Cu, Mn 등 미량요소의 함량을 높인다고 하였다.

상추의 생체중과 건물중을 살펴보면, 생체중의 경우는 Control보다 가수분해물 희석액을 처리한 모든 처리구에서 증가하는 경향을 보였다. 특히, pigs hoof 가수분해물 500배 희석액을 처리한 PHH-2.0 처리구가 주당 14.8 g으로 가장 높은 결과를 보였다. 건물중 역시 생체중과 비슷한 경향을 보였는데, 가수분해물 희석액을 처리한 모든 처리구가 Control보다 6~17% 정도 높은 결과를 나타냈으며, 건물중도 PHH-2.0 처리구가 주당 0.99 g으로 가장 높게 조사되었다. 이는 가수분해물 엽면시비로 엽장, 엽폭 및 엽수가

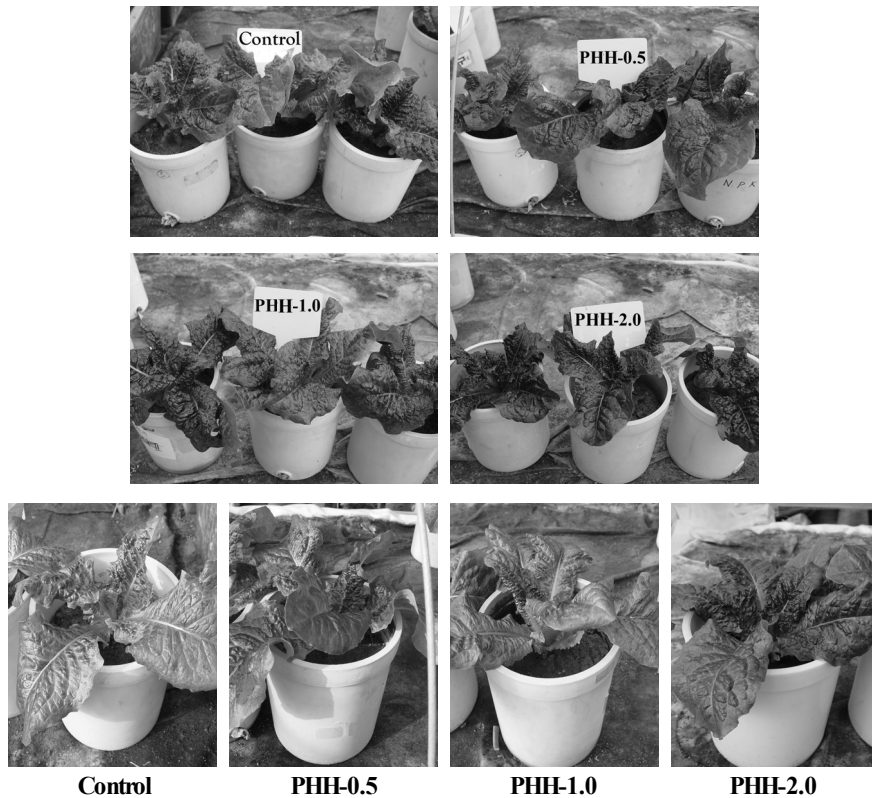


Fig. 2. The matured growing response of lettuce for 40 days after planting in pots.

Table 8. Characteristics of nutrients content in lettuce.

Treatments	N	K	Ca	Mg
	----- % -----			
Control	3.80	4.42	2.33	1.23
PHH-0.5	4.07	4.45	2.36	1.24
PHH-1.0	4.15	4.52	2.39	1.26
PHH-2.0	4.19	4.57	2.43	1.27

증가하였기 때문에 생체중이 증가한 것으로 판단된다.

**상추의 양분 특성** 가수분해물 처리에 따른 상추의 주요 양분 함량 특성을 살펴보면 Table 8과 같다.

질소 함량은 Control이 3.80%로 가장 낮은 결과를 보였으며, 가수분해물 중 질소 함량이 2.4%로 가장 높은 pigs hoof 가수분해물 500배 희석액을 처리한 처리구가 4.19%로 가장 높은 결과를 보였다. Kim (2003)에 의하면 유기태 질소인 아미노산의 흡수가 촉진되어 작물체내 유기질 질소 함량이 높아져, 작물내 유기태 질소와 무기태 질소의 비율을 일정하게 유지하기 위해 토양내 무기태 질소 흡수가 촉진된다고 하였다.

따라서 다양한 아미노산을 함유하고 있는 가수분해물을 상추에 처리하였을 때, 상추내 질소 흡수가 촉진되는 것으로 판단된다. Control과 비교하여 pigs hoof 가수분해물을 처리한 처리구는 칼륨 함량이 약간 더 높은 결과를 나타

냈다. 칼슘 함량은 pigs hoof 가수분해물 500배 희석액을 처리한 PHH-2.0 처리구가 2.43%로 가장 높은 결과를 보였으며, 마그네슘 함량도 같은 경향을 나타내었다.

## 요 약

본 실험은 케라틴 단백질인 Pigs hoof를 알칼리 가수분해하였을 때, 그 가수분해물의 아미노산 함량을 알아보고 액상비료로서의 이용성을 고찰하는 한편, 작물에 시비하였을 경우의 영향 등을 평가하여, 식물환경 연구에 관한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

가수분해물의 화학적 특성을 조사한 결과, pH는 6~7, EC는 10~15 dS m<sup>-1</sup>, 질소는 1~3% 범위였으며, 기타 성분은 모두 0.2% 미만인 것으로 조사되었다. 가수분해물에 함유된 유리아미노산의 총 함량은 10.18%로 분석되었다.

상추 재배 후 가수분해물을 처리한 모든 처리구의 토양

pH는 초기보다 감소하였으며, 치환성 양이온은 Control보다 가수분해물 처리구에서 증가하는 결과를 보였다. 상추의 엽장과 엽폭은 Control보다 6~16%, 4~15%가 증가되었으며, 특히 Pigs hoof 가수분해물 500배액을 엽면시비한 PHH-2.0 처리구가 가장 높은 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 가수분해물의 pH 및 성분함량이 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다. 식물체 양분 함량 중 질소는 pigs hoof 가수분해물 500배 희석액을 처리한 PHH-2.0 처리구가 4.19%로 가장 높은 결과를 보였다. 다양한 아미노산을 함유하고 있는 가수분해물을 상추에 처리하였을 때, 상추의 질소 흡수가 촉진되는 것으로 판단된다.

결론적으로, 가수분해 과정을 통해 생성된 pigs hoof 가수분해물에는 작물 생육을 위한 성분과 아미노산이 다량 함유되어 있는 것으로 조사되었다. 또, 가수분해물 엽면시비 시 상추의 생육 및 수량 증대효과를 보였으며, pigs hoof 가수분해물 1,000배액 처리가 경제성 및 효과 면에서 가장 적절할 것으로 보인다. 이처럼 케라틴 부산물의 가수분해물은 비료로서의 효과가 인정되었으나, 여러 조건을 통하여 분해율을 상승시킬 수도 있지만, 액상비료로 이용하기 위해서는 경제성, 생산성, 효율성 등을 고려하여 적정 수준을 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- Frommer, W.B., S. Hummel, and J.W. Riesmeier. 1993. Expression cloning in yeast of a cDNA encoding a broad specificity amino acid permease from *Arabidopsis thaliana*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 90:434-439.
- Kielland, K. 1994. Amino acid absorption by arctic plants : implications for plant nutrition and nitrogen cycling. Ecology 75:2373-2383.
- Kim, D.I. and D.H. Kim. 2006. Bacterial community structure and diversity of the *Zoysia japonica* soil treated with liquid fertilizer containing amino acids. The Korean Journal of Microbiology 42(2):103-110.
- Kim, H.J. and Y.S. Kim. 2002. Effect of the foliar application of amino acid mixture on the growth of melon seedlings. J. of Bio-Environment Control 11(2):74-80.
- Kim, Y.S. 2003. The effect of mixed amino acid on nitrate uptake in rice, pea, cucumber and red pepper. Master thesis of Chungnam national university.
- Kim, Y.S., S.G. Ham, and K.S. Lee. 2003. The effect of liquid fertilizer contained amino acids on growth of bentgrass (*Agrostis palustris* Huds) and the chemical characteristics of soil. Kor. Turfgrass Sci. 17(4):147-154.
- Lipson, D.A. and P.K. Monson. 1998. Plant-microbe competition for soil amino acids in the alpine tundra; effects of freeze-thaw and dry-rewet events. Oecologia 113:406-414.
- Montamat, F., L. Maurosset, M. Tegeder, W. Frommer, and S. Delrot. 1999. Cloning and expression of amino acid transporters from broad bean. Plant Mol. Biol. 41: 259-268.
- Morita, A., T. Tanaka, M. Harano, and H. Yokota. 2004. Uptake of amino acids by tea plant (*Camellia sinensis* L.) under solution culture condition. Jpn. J. Soil. Sci. Plant Nutr. 75:679-684.
- Neelam, A., A.C. Marvier, J.L. Hall, and L.E. Williams. 1999. Functional characterization and expression analysis of the amino acid permease RcAAP3 from castor bean. Plant Physiol. 120:1049-1056.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Persson, J. and T. Nasholm. 2001. A GC-MS method for determination of amino acid uptake by plants. Physiol. Plant. 113:352-358.
- Persson, J. and T. Nasholm. 2001. Amino acid uptake; a widespread ability among boreal forest plants, Ecol. Lett. 4:434-438.
- Persson, J. and T. Nasholm. 2002. Regulation of amino acid uptake in conifer by exogenous and endogenous nitrogen. Planta 215:639-644.
- Persson, J. and T. Nasholm. 2003. Regulation of amino acid uptake by carbon and nitrogen in *Pinus sylvestris*. Planta 217:309-315.
- Rabb, T.K., D.A. Lipson, and R.K. T.I. Monson. 1996. Non-mycorrhizal uptake of amino acids by roots of the alpine sedge *Kobresia myosuroides* : Implications for the alpine nitrogen cycle. Oecologia 108(3):488-494.
- Schmit, S.K. and G.R. Stewart. 1999. Glycine metabolism by plant roots and its occurrence in Australian plant communities. Aust. J. Plant Physiol. 26:253-264.
- Suh, H.K. 1976. Studies on the Utilization of keratins. J. Korean Soc. Food Nutr. 5(1):75-80.
- Yang, J.E., J.J. Kim, M.K. Shin, and Y.H. Park. 1998. Amino acids in humic acids extracted from organic by-product fertilizers. J. Korea Soc. Soil Sci. Fert. 31(2): 128-136.
- Zhou, D., M. Okamoto, J.J. Vidmar, and A.D.M. Glass. 1999. Regulation of a putative high-affinity nitrate transporter (Nrt2; 1At) in roots of *Arabidopsis thaliana*. Plant J. 17:563-568.