

PAM과 K-CMC처리가 토양의 이화학성 및 양배추의 수량에 미치는 영향

김석균* · 김경제
동국대학교 식물자원학과

Effects of Polyacrylamide (PAM) and Potassium-Carboxymethylcellulose (K-CMC) on Soil and Yield of Cabbage (*Brassica oleracea* L. cv. Empire)

Kim, Seog-Kyun* · Kim, Kyung-Je
Dept. of Plant Resources, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea
*corresponding author

ABSTRACT The objective of this study was to observe the effects of potassium-carboxymethylcellulose (K-CMC), which is a natural polymer derivative, and polyacrylamide (PAM), which is a commercial synthetic polymer, on soil physicochemical properties and yields of the cabbage. To increase water absorbing capacity (WAC), hydrophilic carboxymethyl group was introduced to cellulose chain and it was confirmed by FT-IR. WAC was tested by tea-bag method in distilled water and 3% NaCl solution. PAM is slightly more absorptive than K-CMC in distilled water, but in NaCl solution, K-CMC is more absorptive than PAM. Soil particle sizes above 1mm were immediately increased from 9.6 to approximately 16.6% by the application of K-CMC and PAM, respectively. Infiltration rates of soil were approximately twice as great as those of the control when conditioned with the K-CMC and PAM treatment. K content of soil treated with K-CMC was significantly higher than those of PAM and control, but the other components of soil chemical properties were not different. The early growth and vegetative production of cabbage in the K-CMC and PAM treatments were significantly higher than the control. The contents of vitamin C were increased with the treatment of K-CMC. It was proposed that K-CMC treatment influence K component of the soil and vitamin C content of the cabbage, therefore, it improved the yields as well as crop quality.

Additional key words: Infiltration rate, soil particle size, vitamin C, WAC

서 언

흡수성 고분자란 자기중량의 수백 배에서 수천 배의 물을 흡수하고, 일단 흡수한 물은 다소의 압력을 가해도 방출하지 않는 특성을 가진 고분자 중합체로, 1974년 미국에서 개발된 이후 미국과 일본 등의 여러 화학회사가 연구개발에 착수, 1980년을 전후로 각 회사의 제품이 개발되어 시판되기 시작하였다. 1978년에 생리용 냅킨에 처음 실용화시켰고, 1982년 유아용 종이기저귀 용도로 제품 이용성이 확대된 후 급격히 성장하기 시작하였다. 이러한 위생용도에서의 흡수성 고분자의 생산은 특히 일본을 중심으로 발전하여 전세계로 파급되고 있으며, 현재 생리용 냅킨의 90% 이상과 유아 및 노인용 종이기저귀의 80% 이상에 흡수성 고분자가 이용되고 있다(Masuda, 1982a,b; Taguchi와 Ishii, 1985). 흡수성 고분자는 원료에 따라 전분이나 셀룰로오스 유도체 등을 이용한 천연 고분자와 폴리비닐알콜이나 아크릴계를 이용한 합성 고분자로 구분할 수 있고, 반응형식에 따라 그래프트중합체와 카르복시메틸화, 가교합성수지계 등으로 구분할 수 있으며, 제조형태 또는 이용형태에 따라 분말상과 과상, 섬유상, 필름상 등의 여러 가지 형태로 구분할 수 있다(Tsukamoto,

1994). 흡수성 고분자가 토양 및 작물에 미치는 효과로는 토양의 통기성 증가(Quastel, 1952)와 토양의 단립과 공극 및 투수율의 증가(Taylor와 Baldridge, 1954; Mitchell, 1986), 조립의 활착률 증가(Oh와 Lee, 1989), 묘목의 이식활착률 증가(Park, 1994), 작물의 발아율 증가(Rawitz와 Hazan, 1978), 토양침식의 감소(Wallace와 Wallace, 1986), 토마토와 옥수수 및 밀(Martin, 1953; Wallace 등, 1986) 등 작물의 수량 증가 등이 보고되어 있다. 흡수성 고분자는 개발된지 21년, 그리고 실용화된지 10여년에 불과하지만, 위생 분야에서는 대량소비에 힘입어 눈부신 성장을 이룩하였다. 그러나 농업 및 농원에 분야에서는 아직도 용도개발의 단계 정도에 머물고 있는 실정이다. 그러나, 농업 및 농원에 분야에서의 잠재적 수요는 위생분야보다도 훨씬 높을 것으로 예상되는데, 현재로서는 무엇보다도 기반확립이 가장 중요하다고 하겠다. 특히, 산업화로 환경문제가 가장 심각하게 된 오늘날 분해산물인 화학약품 등에 의해 환경오염을 가속화시키는 합성 고분자보다는 분해 시 인체에 무해하고 환경오염을 극소화할 수 있는 전분이나 셀룰로오스 등의 원료를 이용한 흡수성 고분자의 개발과 이러한 제품의 생분해성 등의 장점을 살린 천연 흡수성 고분

자류의 개발이 필요하다고 하겠다. 본 연구에서는 천연펄프를 이용하여 인체에 무해하면서도 비료의 효과를 증진시킬 수 있고, 생분해성의 장점을 살려 토양의 물리화학적 특성을 개량할 수 있으며, 원예작물의 수량 증대 뿐만 아니라 품질을 향상시킬 수 있는 천연 고분자 중합체의 제조와 토양개량제로의 이용성 확립을 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

CMC의 제조방법은 유기용매법을 사용하였다(Whistler, 1963). 먼저 400mL의 2-propanol 용액에 건조시킨 용해용 펄프 15g을 1L 비이커에 넣고 상온에서 휘저으면서 30% KOH 40mL를 30분 동안 넣어준 후, 1시간 동안 더 저어준 다음 18g의 monochloroacetic acid를 30분에 걸쳐 서서히 가해주었다. 이 혼합물이 들어 있는 비이커를 알루미늄 호일로 뚜껑을 덮어서 55-60°C 건조기에 3.5시간 동안 넣어 두어 반응을 시킨 다음 꺼내 70-100% methanol로 각각 수회 탈수시킨 후 60°C 진공건조기에서 완전히 건조시켰다. 이 시료를 Wiley-type mill로 분쇄하여 K-CMC를 제조하였다. 제조한 K-CMC에 카르복실기가 도입되었는가를 확인하기 위하여 Fourier Transform Infrared Spectroscopy(FT-IR) 분석을 실시하였다. 위와 같이 제조한 K-CMC의 대조구로 용해용 펄프를 각각 40-60mesh 크기의 분말을 만들고, 여기에 KBr을 소량 넣은 다음 2kg/cm²의 압력을 가하여 pellet를 만든 후, FT-IR로 분석하였다. FT-IR 분석에 사용한 기종은 Hartman & Bomen사의 MS series이었다. 합성 고분자 중합체인 PAM은 美國 Complete Green Company (2066 Westwood Boulevard, Los Angeles)의 100% modified PAM을 사용하였다. 제조한 K-CMC와 PAM의 흡수량은 증류수와 전해질용액에서 tea-bag법(Masuda, 1987)으로 측정하였다. 토양의 물리적 특성 중 입자크기별 분포는 직경 1.0mm 체를 통과한 토양에 K-CMC와 PAM을 토양중량의 각각 0.3%와 0.1%로 처리하여 24시간 상온건조 후, 4.0과 2.0 및 1.0mm의 체에서 손으로 10회 강하게 흔든 다음 각 체 위에 남은 잔존량의 무게를 측정하여 백분율로 계산하였고, 토양의 투수율은 1.0mm 이하의 토양 500g을 1.5L 페트병을 잘라서 만든 용기에 넣고 K-CMC와 PAM을 각각 토양중량의 0.3%와 0.1%로 처리하여 24시간 상온건조 후 저면관수로 공극을 제거하여 완전 침수상태에서 자동적정기로 초당 한 방울의 물방울을 떨어뜨려 배수될 물의 양과 시간으로 투수속도를 측정하였다(Wallace 등, 1986). 토양의 화학적 특성은 K-CMC와 PAM을 토양중량의 0.1%로 처리한 후, 토양의 pH와 유기물함량(OM:organic matter), P, K, Ca, Mg, 그리고 Na 성분을 농촌진흥청 농업과학기술원 분석법에 준하여 분석하였다. 공시재료는 (주)홍농종묘의 '우진1호 양배추' (*Brassica oleracea* L. cv. Empire)를 1995년6

Table 1. Water absorbing quantity and capacity of K-CMC and PAM in distilled water and 3% NaCl solution in tea-bag^z.

Treatment (g/g)	Distilled water		3% NaCl solution	
	WAQ ^y	WAC ^x	WAQ	WAC
	g	times	g	times
K-CMC 0.1	3.3	33	1.1	11
PAM 0.1	4.7	47	1.1	11

^zTea-bag method of Masuda(1987).

^yWAQ : Water Absorbing Quantity.

^xWAC : Water Absorbing Capacity.

Table 2. Dry aggregate size distribution of soil treated with K-CMC and PAM.

Treatment (%)	Aggregate size (mm)				Aggregate ^z
	below 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	above 4.0	
	----- % -----				
K-CMC 0.3	80.4	6.1	2.5	11.0	19.6a ^y
PAM 0.1	73.4	9.1	3.3	14.2	26.6a
Control	90.0	2.9	1.9	5.2	10.0b

^zAggregated percentage above 1mm.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

Table 3. Elapsed time for water infiltration of soil treated with K-CMC and PAM.

Treatment (%)	Amount of water infiltrated (ml)			
	1	10	20	30
	----- seconds -----			
K-CMC 0.3	60	346	672	1150
PAM 0.1	52	339	636	920
Control	76	605	1245	1842

Table 4. Chemical components of soil treated with K-CMC and PAM.

Treatment (%)	pH	OM	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	(%)	(ppm)	-----	(me/100g)	-----	
K-CMC 0.1	7.0	2.6	646.5a ^z	1.2a	7.0	0.5	0.1
PAM 0.1	6.9	2.4	572.1b	0.9b	7.1	0.5	0.1
Control	6.8	2.5	659.4a	0.8b	6.7	0.5	0.1

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

월 30일 10×10cm 크기의 포트에 5립씩 과중하여 항온기 (Sanyo WE52B5, Japan)에서 재배하였다. 항온기는 주/야를 14/10h, 온도와 광도를 각각 25/18℃, 20/0klux로 하였다.

흡수성 고분자 PAM과 K-CMC는 각각 토양중량의 0.1%와 0.3%로 처리하였고, 7월1일과 7월15일에 복비 (N:P:K = 21:17:17)를 충분히 관비하였다. 7월 20일과 8월5일, 8월20일에 15일 간격으로 생체중과 엽수, 엽장, 엽폭, 그리고 건물중을 조사하였다. 9월1일에 40×40cm 로 하우스에 정식한 후 성분량으로 N 33kg, P 22kg, K 27kg을 시비하였다.

포장시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였고, 11월23일 수확하여 생체중과 엽수, 엽폭, 엽장, 구중, 구고, 구폭, 그리고 구엽수를 농촌진흥청 원예연구소 표준조사법에 준하여 조사하였다. 양배추의 비타민 C와 thiocyanate의 함량을 측정하였는데 비타민 C 함량 분석은 Joo 등(1991)의 2,6-dichlorophenolindophenol법으로 측정하였고, thiocyanate는 Johnston과 Jones(1966)의 simple colorimetric 법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

FT-IR로 반응기의 치환을 분석한 결과는 Fig. 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같았다. Fig. 1은 대조구인 용해용 펄프이고 Fig. 2는 K-CMC로서 글루코오스에 있는 -OH기는 3300cm⁻¹ 부근에서 나타나지만 여기에서는 분명하지 않은데 이것은 K-CMC가 흡수성 고분자로서 공기중의 수분을 흡수하여 나타난 결과인 듯하다. 변화가 명백하게 일어나는 부분이 1643.19cm⁻¹로 이는 글루코오스 6번 위치에 있는 CH₂OH의 O-H stretching이 줄어들고 1613.77cm⁻¹과 1411.37cm⁻¹ 부분의 C-O stretching이 나타났는데, 이것은 글루코오스 6번 위치의 CH₂OH에 카르복실기의 치환이 일어나 CH₂O-CH₂COOK로 바뀌면서 나타나는 C-O stretching으로 생각되었다. 이와 같은 C-O stretching은 Nakano 등(1990)이 에틸알콜-물 용매계로 carboxy-methylation

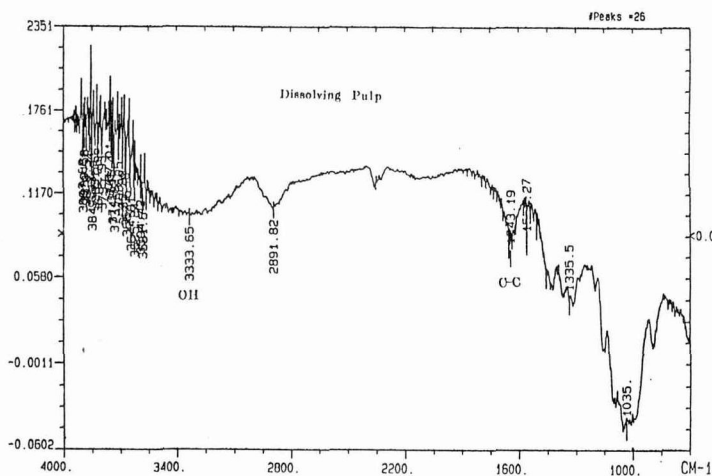


Fig. 1. FT-IR analysis of dissolving pulp.

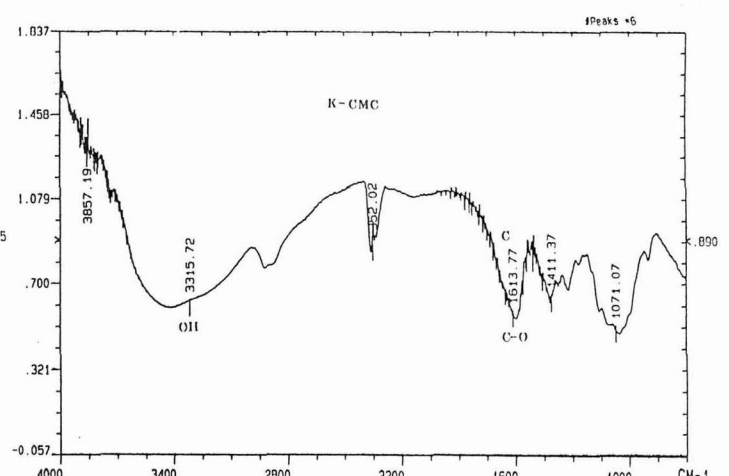


Fig. 2. FT-IR analysis of K-CMC.

처리한 木粉의 FT-IR분석 결과와도 잘 일치되어 의도한 대로 용해용 펄프에 카르복실기의 치환을 확인할 수 있었다(Fig. 1.2).

Table 1은 tea-bag법(Masuda, 1987)으로 측정된 K-CMC와 PAM의 흡수량(water absorbing quantity)과 흡수력(water absorbing capacity)으로 0.1g 수준에서의 증류수 흡수량은 K-CMC가 3.3g, PAM이 4.7g으로 각각 33배와 47배 정도의 흡수력을 갖고 있어 흡수력에서는 PAM이 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나, 3% NaCl용액에서의 흡수량은 K-CMC와 PAM이 모두 1.1g으로 흡수력이 11배로 같아서 전해질용액에서는 오히려 K-CMC가 높게 나타났다. 이러한 결과는 흡수성 고분자에서 물과 결합하는 부분이 전해질용액에 있는 이온과 먼저 결합하기 때문에 나타나는 현상으로서(Wang과 Gregg, 1990), 일반적으로 흡수성 고분자의 증류수에 대한 흡수력은 합성 고분자류가 천연 고분자류에 비하여 높으나, 전해질용액에서는 합성 고분자류의 흡수력이 매우 감소하기 때문에(Bowman과 Evans, 1991; Bowman 등, 1990) 다량의 비료를 처리한 토양에서는 K-CMC의 처리가 더 효과적으로 사료되었다.

K-CMC와 PAM이 토양의 입단화와 투수율에 미치는 영향을 조사한 결과, 처리 전 토양입자의 크기는 모두 1.0mm 이하였으나, 처리 후 토양의 입자크기가 모두 증가하였고, 1.0mm 이상의 입단화 비율은 무처리에 비하여 K-CMC와 PAM처리구에서 각각 9.6%와 16.6%가 증가하였다

(Table 2). 저면관수로 완전 침수상태에서의 투수속도는 1mL의 물이 투수되는 시간이 무처리의 경우 76초가 소요되었고, K-CMC와 PAM은 각각 60초와 52초가 소요되어 커다란 차이는 없었으나, 시간이 경과함에 따라서 30mL의 물이 침수될 때까지의 시간은 무처리의 1,842초에 비하여 K-CMC처리는 1,150초, PAM처리는 920초로 매우 빨라서 토양의 투수율 증가에도 매우 효과적이었다. 이러한 결과는 투수율이 토양공극의 크기에 비례하기 때문에 입단화의 증가로 인한 공극의 증가로 흡수량과 투수율이 증가한 결과(Hedrick과 Mowry, 1952)로 사료되었다(Table 3).

K-CMC와 PAM처리가 토양의 화학성에 미치는 영향을 조사한 결과, pH는 모두 중성에 가까웠고, OM과 Ca, Mg, Na는 처리간에 차이가 없었으며, P는 PAM처리에서 가장 낮았고, K는 K-CMC처리에서 가장 높았다(Table 4). 이러한 결과는 CMC의 제조과정에 있어 셀룰로오스의 팽윤을 위하여 사용한 KOH 용액 때문에 K-CMC에서 K의 함량이 가장 높게 나타난 것으로 사료되었다.

Table 5는 K-CMC와 PAM을 처리한 토양에서 양배추의 초기생육을 조사한 결과이다. 7월20일과 8월5일, 그리고 8월20일에 15일 간격으로 3회 측정된 결과로, 8월20일을 기준으로 생체중은 PAM이 6.84g, K-CMC가 6.78g으로 무처리의 6.32g에 비해 생육이 우수하였다. 엽수에서도 생체중과 마찬가지로 PAM이 10.8매, K-CMC가 10.5매로 무처리 보다 조금 많았고, 엽장과 엽폭에서도 PAM과 K-CMC처리가 무처리에 비하여 약간

커 두 가지 모두 양배추의 초기생육 촉진에 효과적이었다.

Table 6은 9월1일에 정식하여 11월23일에 수확한 양배추의 생육특성으로 외엽수는 K-CMC가 19.7매, PAM이 20.2매로 무처리에 비하여 많았으며, 엽폭과 엽장에서도 K-CMC와 PAM 모두 약간 증가하는 경향이였다. 구폭과 구고, 구중 및 구의 엽수는 K-CMC와 PAM처리에서 모두 증가하였고 총중량 또한 매우 높아서 토양 내에 K-CMC와 PAM처리가 양배추의 초기생육은 물론 수량증가에 매우 효과적이었는데, K-CMC 보다는 PAM이 조금 더 우수하였다. 생체중 100g당의 비타민C 함량은 K-CMC가 51.9mg으로 무처리 34.8과 PAM 29.1mg 보다 현저히 높았고, 매운맛을 내는 thiocyanate 함량도 건물중 g당 K-CMC가 8.7 μ g으로 가장 높았다.

일반적으로 비료성분 중 K는 탄소동화작용에 관여하기 때문에 K의 증가는 당분의 함량을 증가시켜 결과적으로 품질의 향상을 기대할 수 있으며(Habben, 1973). N은 작물의 비타민C 함량을 감소시키는 반면, K는 증가시켜서(Scharrer와 Werner, 1957) 당근과 토마토의 비타민C 함량을 증가시켰다고 한다(Penningsfeld와 Forchhammer, 1957). 본 실험에서 K-CMC를 제조하는데 있어 사용한 KOH 용액에 있는 K 성분이 치환되어 있기 때문에 K-CMC처리가 다량의 K 성분을 토양에 제공하여 양배추의 비타민C 함량을 증가시킨 듯하며, K-CMC처리가 양배추의 수량증가 뿐만 아니라 품질의 향상에도 그 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되었다.

일반적으로 전분이나 셀룰로오스를 이용한 천연 고분자계는 합성 고분자계에 비하여 흡수력이 다소 떨어지지만, 전해질농도가 높은 용액에서는 오히려 합성계에 비하여 흡수력이 높기 때문에, 염분농도가 높은 간척지나 다량의 비료를 시비한 토양 등에서 작물을 재배할 때에는 효과적이고, 본 실험에서 제조한 K-CMC는 제조상에서 알칼리성을 띠고 있으므로 산성토양의 중성화에도 효과를 기대할 수 있으며, 나트륨 대신에 칼륨 등을 치환시켜 제조하였기 때문에 작물재배에 있어서 이러한 칼륨 등의 양분을 공급할 수 있어서 생산물의 품질 또한 고급화할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그러나 아직까지 흡수력이 다소 낮기 때문에 급후에도 더욱 높은 흡수력을 가진 천연계 흡수성 고분자의 제조가 필요할 것으로 사료된다.

Table 5. Early growth of cabbage on soil treated with K-CMC and PAM.

Treatment (%)	Plant weight (g)	No. of leaves	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Dry weight (g/plant)
7.20 ^z K-CMC 0.3	0.44a ^y	2.3a	2.1	2.5	0.05
PAM 0.1	0.45a	2.4a	2.2	2.6	0.05
Control	0.38b	2.1b	1.8	2.3	0.04
8.5 K-CMC 0.3	1.86a	6.2a	3.7	4.7	0.24
PAM 0.1	1.92a	6.4a	3.7	4.8	0.25
Control	1.77b	5.8b	3.4	4.3	0.22
8.20 K-CMC 0.3	6.78a	10.5a	5.3	6.5	0.98
PAM 0.1	6.84a	10.8a	5.5	6.6	1.00
Control	6.32b	9.8b	4.7	6.2	0.94

^zDates investigated. Planted on 30 June, 1995.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

Table 6. Growth characteristics of cabbage on soil treated with K-CMC and PAM.

Treatment (%)	No. of outer leaves	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Head width (cm)	Head height (cm)	Head weight (g)	No. of head leaves	Fresh weight (g)	VitaminC (mg/100g, FW ^z)	Thiocy-anate(μ g/g, DW ^y)
K-CMC 0.3	19.7a ^x	33.3	44.0	15.9a	12.3a	1,110a	46.7a	1,763a	51.9a	8.7
PAM 0.1	20.0a	33.7	45.3	16.0a	12.5a	1,135a	47.3a	1,800a	29.1b	7.9
Control	18.6b	32.4	43.3	13.9b	11.7b	991b	44.7b	1,694b	34.8b	7.9

^zFW : Fresh weight.

^yDW : Dry weight.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

Transplanted on 1 Sept. and harvested on 23 Nov. 1995.

초 록

천연계 흡수성 고분자 K-CMC (potassium-carboxymethylcellulose)와 합성계인 PAM (polyacrylamide)이 토양의 물리화학적 특성과 양배추의 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 제조한 K-CMC에 친수성인 카복실기의 도입을 FT-IR로 확인하였고, 부직포를 이용하여 측정된 PAM과 K-CMC의 흡수력은 증류수에서는 PAM이 더 높았으나, 염화나트륨 3% 용액에서는 K-CMC와 PAM이 같아서 비료성분이 많은 토양에서는 K-CMC가 더 효과적인 듯 하다. 토양의 입자크기 1.0mm 이상의 입단율은 K-CMC와 PAM처리에서 각각 9.6%와 16.6%가 증가하였고, 투수속도도 K-CMC와 PAM처리 모두 촉진되어 투수율 또한 증가하였다. 토양의 화학성분에서는 K-CMC처리가 토양의 K 함량을 증가시켰으나, 다른 성분에서는 차이가 없었다. K-CMC와 PAM처리는 양배추의 초기생육 및 수량, 그리고 비타민C 함량을 증가시켜서 양배추의 수량과 품질의 향상에도 효과적이었다. 그러나, 본 실험에서 제조한 K-CMC의 흡수력이 다소 낮기 때문에 더 높은 흡수력을 가진 천연계 흡수성 고분자의 개발이 필요하다고 사료된다.

추가 주요어: 투수율, 토양입단크기, 비타민C 함량, 흡수력

인 용 문 헌

- Bowman, D. C. and R. Y. Evans. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. *HortScience* 26:1063-1065.
- Bowman, D. C., R. Y. Evans, and J. L. Paul. 1990. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:382-386.
- Habben, J. 1973. Einfluß der Stickstoff und Kaliumdüngung auf Ertrag und Qualität der Möhre (*Daucus carota* L.). *Landwirtsch. Forsch.* 26(2):156-172.
- Hedrick, R. M. and D. T. Mowry. 1952. Effect of synthetic polyelectrolytes on aggregation aeration and water relationships of soil. *Soil Sci.* 73:427-441.
- Johnston, T. D. and D. I. H. Jones. 1966. Variations in the thiocyanate content of kale varieties. *J. Sci. Food Agric.* 17:70-71.
- Joo, H. G., G. H. Cho, and C. G. Park. 1991. Analysis of food II. You Leem., Seoul. p.184-188.
- Martin, W. P. 1953. Status report on soil conditioning chemicals: 1. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17:1-9.
- Masuda, H. 1982a. Super absorbent polymer (I). *Koubunshikakou* 31(6):31-36.
- Masuda, H. 1982b. Super absorbent polymer (II). *Koubunshikakou* 31(8):21-25.
- Masuda, H. 1987. Super absorbent polymer. *Kyouritsushyutpan.* p.52.
- Mitchell, A. R. 1986. Polyacryl-amide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Sci.* 141(5):353-358.
- Nakano, T. S., S. E. Honma, and A. Matsumoto. 1990. Carboxy-methylation of wood by ethanol-water reaction medium. *Mokuzaigakkaishi.* 36(3):193-199.
- Oh, J. S. and M. B. Lee. 1989. Studies on packing methods of outplanting seedlings using super absorbent. *Res. Rep. For. Res. Inst.* 38:1-7.
- Park, S. B. 1994. Characteristics of super absorbent polymer and state of the art. *Mokchae Konghak.* 22 (1):91-112.
- Penningsfeld, F. and L. Forchthammer. 1957. Reduktion der wichtigsten gemüsear auf gestaffelte Düngungshöhe. *Gartenbauwissenschaft.* 4:208-235.
- Quastel, J. H. 1952. Influence of organic matter on aeration and structure of soil. *Soil Sci.* 73:419.
- Rawitz, E. and A. Hazan. 1978. The effect of stabilized, hydrophobic aggregate layer properties on soil water regime and seedling emergence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:787-793.
- Scharrer, K. and W. Werner. 1957. Über die Abhängigkeit des Ascorbinsäuregehaltes der Pflanze von ihrer Ernährung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* 77(122):87-110.
- Taguchi, J. and K. Ishii. 1985. Water-soluble polymers and super-absorbent polymers. *Kagaku tokyouyou.* 59(5):188-195.
- Taylor, G. S., and P. E. Baldridge. 1954. The effect of sodium carboxymethylcellulose on some physical properties of Ohio soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18:382-385.
- Tsukamoto, R. 1994. Studies on super absorbent materials. *Shipagikyoushi.* 48(2):28-34.
- Wallace, A. and G. A. Wallace. 1986. Control of soil erosion by polymeric soil conditioners. *Soil Sci.* 141(5):363-367.
- Wallace, A., G. A. Wallace, and A. M. Abouzamzam. 1986. Effects of excess level of a polymer as a soil conditioner on yields and mineral nutrition of plants. *Soil Sci.* 141(5):377-380.
- Wang, Y. T. and L. L. Gregg. 1990. Hydrophilic polymers: Their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:943-948.
- Whistler, R. L. 1963. *Methods in carbohydrate chemistry.* Academic Press.