

토양내 K-CES와 PAM처리가 시금치의 생육에 미치는 영향

김석균^{1*} · 河緒實之² · 崎山亮三²
¹동국대학교 식물자원학과, ²동경대학교 농학부

Effects of Potassium-Cyanoethylstarch (K-CES) and Polyacrylamide (PAM) on Growth of Spinach (*Spinacia oleracea* L.)

Kim, Seog-Kyun^{1*} · Kawabata, Saneyuki² · Sakiyama, Ryojo²
¹Dept. of Plant Resources, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea
²Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo 113, Japan
*corresponding author

ABSTRACT The objective of this study was to observe the effects of potassium-cyanoethylstarch (K-CES), which is a natural polymer derivate, and polyacrylamide (PAM), which is a synthetic polymer, on the growth of spinach under environment-controlled biotron. K-CES was made from tapioca starch, and introductions of acrylonitrile was confirmed by FT-IR. Water absorbing capacities (WAC) of K-CES and PAM were 37.6 and 47.8 times, respectively. WAC of PAM was slightly higher than K-CES, WAC of PAM in saline solutions were more reduced than those of K-CES. It was introduced that K-CES treatment was more effective than PAM in higher salinity of water and soil. Dry super absorptive polymers were put into solution, and the solution was applied to soil as an soil conditioner. Both amendmets, K-CES and PAM, increased the vegetative growth of the spinach when applied at 0.1% of soil weight. In general, the most favorable results for early vegetative growth of the spinach came from the PAM treatment, followed by the K-CES treatment.

Additional key words: saline solution, WAC

서 언

토양의 물리적 특성과 작물의 생산에는 높은 상관관계가 있기 때문에 작물의 수량 증대를 얻기 위해서는 적당한 토양의 물리적 특성이 반드시 필요하다. 토양의 물리적 성 개선을 위하여 개발된 흡수성 고분자는 효율적인 수분의 이용을 위하여 높은 수분 보유력이 요구되고, 개발된 각 고분자가 갖고 있는 특성의 차이는 원료로 사용한 흡수성 고분자의 분자량이 주된 요인이라고 하였다(Schamp와 Huylebroech, 1972). 흡수성 고분자는 사용한 원료에 따라 천연계와 합성계로 분류할 수 있으며, 일반적으로 흡수력은 합성계 고분자가 월등히 높으나, 전해질용액에서의 흡수력은 매우 저하되는 단점이 있다(Bowman과 Evans, 1991; Bowman 등, 1990). 흡수성 고분자는 위생분야(생리용품과 종이거즈 등), 수성젤 기재(악취제거나 방향제 등), 농원예용 토양보수제, 油中 수분 제거제, 결로방지제 등의 분야에 응용되고 있으며(Masuda, 1982), 이 중 농원예용으로는 육묘배토용 보수제, 묘목이식용 보수제, 綠化用 보수제, 종자 코팅제, 유체파종용 겔제 등이 있다(Sugimura와 Takeno, 1982). 흡수성 고분자의 이용이 토양의 물리적 특성과 작물의 생육에 미치는 영향으로는 토양의 통기성 향상(Fushimi, 1993; Wallace와 Wallace, 1986b), 투수율의 증가와 토양침식의 감소(Levy 등, 1992; Smith 등, 1990), 토마토의 발아율 증가(Wallace와 Wallace, 1986a), 시금치와 배추의 수량 증가(Toyama 등, 1984; Toyama 등,

1987) 등이 있다.

본 실험은 전분을 이용하여 천연계 흡수성 고분자인 potassium-cyanoethylstarch (K-CES)를 제조하고 합성계인 polyacrylamide (PAM)와 비교하여 시금치의 생육과 수량에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

전분을 이용한 흡수성 고분자의 제조는 Sakashima 등(1969)의 방법을 이용하였다. 제조방법은 먼저 비이커에 타피오카 전분 2g을 4% KOH 수용액 50mL에 상온에서 휘저으면서 넣고 여기에 acrylonitrile (AN) 7.5g을 가하여 반응을 개시시켰다. 1시간 정도 반응시킨 후 acetic acid로 중화시켜 반응을 정지시킨 후, 반응생성물이 들어 있는 비이커에 2-propanol 용액을 가하여 침전시키고, 다시 재침전을 반복하여 침전물을 정제시킨 후 60°C 진공건조기에서 완전히 건조시킨 다음 분쇄하였다.

전분의 흡수성을 향상시키기 위하여 전분에 처리한 친수성인 AN의 도입을 확인하고자 적외선 분광분석기(Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR)를 이용하여 분석하였다. 사용한 기종은 Hartman & Bomen사의 MS series로 각각의 시료에 소량의 KBr을 혼합하여 2kg/cm²의 압력을 가하여 pellet를 만든 후 분석하였다.

PAM은 미국 Complete Green Company (2066 Westwood Boulevard, Los Angeles)의 100% modified PAM으로, 위에서 제조한 천연계 흡수성

고분자인 K-CES와 합성계 고분자인 PAM의 흡수력을 tea-bag (Masuda, 1987)을 이용하여 증류수와 전해질용액에서 흡수량과 흡수력을 조사하였다.

K-CES와 PAM을 각각 토양에 토양중량의 0.1%로 처리하여 시금치의 초기생육과 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 공시품종은 (株)Takii종묘의 'Okame' 시금치 종자를 직경 10cm 포트에 5립씩 8월7일에 파종하였다. 비료는 (株)日本化成의 화학비료인 Kumiai IB 複合燐安 555 (N:P:K=15:15:15)를 질소의 성분량으로 환산하여 200kg/10a, (株)岡田石灰工業의 炭酸苦土石灰를 120kg/10a 및 (株)Daiya Chemical의 微量要素 8 (고토망간붕소함유複合11号)을 40kg/10a 기비로 시비하였다. 시금치 포트는 완전입의 배치 5반복으로 하여 동경대학 구내에 있는 바이오트론에서 재배하였고, 바이오트론의 실내온도는 주간 25°C와 야간 20°C로 하였으며, 주간과 야간을 각각 12시간으로 하여 주간에 toshiba 陽光램프를 사용하여 10,000 lux로 조명하였다. 파종 후 8월15일부터 1주일 간격으로 3회에 걸쳐 엽장과 엽폭, 그리고 엽수 등 초기생육을 측정하였고, 1차 생육 조사시 포트당 한 개체만 남기고 모두 솎아주었다. 그리고 생육조사 후에 총 3회에 걸쳐 액비 hyponex (村上物産株式會社)를 1,000배액으로 희석하여 관수와 동시에 충분히 주며하였다. 8월31일 시금치를 수확하여 주당 엽수와 최대엽의 엽장과 엽폭, 그리고 주당 생체중과 건물중을 조사하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 무처리 전분과 K-CES를 FT-IR을 이용하여 반응기인 니트릴기의 도입을 분석한 결과이다. 제조한 K-CES에 무처리 전분에서는 없는 2253.29cm⁻¹ 부근의 새로운 신축진동이 나타났으며, 이러한 결과는 McMurry (1995)의 표준 차트와 Jeong 등(1998)이 옥수수 전분에 AN을 가하여 제조한 CES의 2255cm⁻¹ 부근에 신축진동이 나타났다는 결과와 잘 일치하여 의도한 대로 전분에 친수성기인 AN이 도입되었음을 확인하였다. 일반적으로 CES의 제조시 전분의 팽윤을 위하여 NaOH 용액을 사용하여 Na-CES를 제조하지만, 본 실험에서는 식물체에 다량으로 필요한 K 성분을 공급하기 위하여 KOH 용액을 사용하였다.

Table 1은 K-CES와 PAM 0.05g의 증류수와 전해질 용액에서의 흡수량과 흡수력을 tea-bag 방법을 이용하여 측정된 결과이다. 증류수에 대한 PAM의 흡수량은 2.39g으로 자기중량의 약 47.8배의 흡수력을 갖고 있었고, K-CES는 1.88g을 흡수하여 약 37.6배의 흡수력을 갖고 있어 PAM이 다소 높은 흡수력을 갖고 있었다. 그러나, 1% HNO₃ 용액에서의 흡수력은 PAM이 7.2배로 매우 감소한 반면 K-CES의 흡수력은 6.6배로 PAM에 비하여 흡수력의 저하가 적었다. 1% H₃PO₄ 용액에서도 PAM의 흡수력이 12.8배인데 비하여 K-CES는 10.6배였고, 1% K₂SO₄ 용액에서도 PAM이 20.8배, 그리고 K-CES가 17.2배였다. 증류수

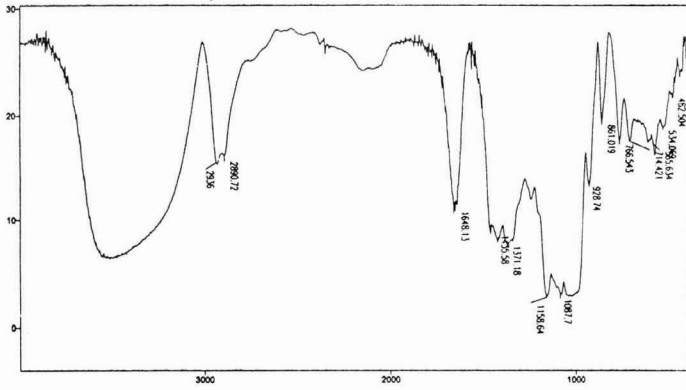


Fig. 1. FT-IR analysis of starch.

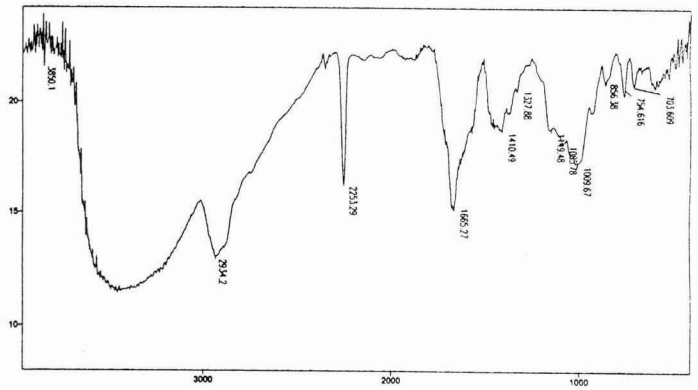


Fig 2. FT-IR analysis of K-CES.

Table 1. Water absorbing quantities and capacities of K-CES and PAM in distilled water and saline solution in tea-bag^z.

Treatment	K-CES 0.05g		PAM 0.05g	
	WAQ ^y (g)	WAC ^x (times)	WAQ (g)	WAC (times)
Distilled water	1.88	37.6	2.39	47.8
1% HNO ₃	0.33	6.6	0.36	7.2
1% H ₃ PO ₄	0.53	10.6	0.64	12.8
1% K ₂ SO ₄	0.86	17.2	1.04	20.8

^zTea-bag made by method of Masuda (1987).

^yWAQ : Water absorbing quantity.

^xWAC : Water absorbing capacity.

Table 2. Effects of K-CES and PAM treated soil on early growth of spinach.

Treatment (%)	No. of leaves (each/plant)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
8. 15 ^z	K-CES 0.1	4.5a ^y	1.08b
	PAM 0.1	4.8a	1.16a
	Control	3.2b	0.82b
8. 22	K-CES 0.1	6.8a	1.55b
	PAM 0.1	7.6a	1.72a
	Control	5.2b	1.10b
8. 29	K-CES 0.1	11.7a	2.33b
	PAM 0.1	12.4a	2.48a
	Control	7.6b	1.70b

^zDates investigated. Planted on 7 August, 1997.

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

에 대한 흡수력은 PAM이 K-CES보다 10배 이상 높았으나, 전해질 용액에서는

Table 3. Effects of K-CES and PAM treated soil on growth characteristics of spinach.

Treatment (%)	Fresh weight (g/plant)	No. of leaves (each/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Dry weight (g)
K-CES 0.1	3.89a ^z	14.0a	13.93a	2.56b	0.52a
PAM 0.1	4.01a	14.6a	14.60a	2.90a	0.55a
Control	1.16b	9.0b	10.68b	1.96b	0.17b

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

Planted on 7 August and harvested on 31 August, 1997.

흡수력이 매우 감소한데 비하여 K-CES의 흡수력은 크게 떨어지지 않아 비료성분이 많은 토양에서의 처리는 전해질의 농도가 높을수록 K-CES의 흡수력이 높을 것으로 사료되었다.

PAM과 K-CES를 각각 토양 중량의 0.1%로 처리하여 시금치의 초기생육에 미치는 영향을 조사한 결과(Table 2), 엽수는 PAM이 12.4매로 가장 많았고 K-CES도 11.7매로 무처리의 7.6매에 비하여 매우 높게 나타났다. 엽장과 엽폭에서도 PAM이 각각 12.62와 2.48cm, K-CES가 각각 11.35와 2.33cm로 무처리에 비하여 매우 높아서 흡수성 고분자의 처리가 시금치의 초기생육 증가에 매우 효과적이었다.

Table 3은 8월7일에 파종하여 8월31일 수확까지 23일 동안 재배한 결과로 역시 초기생육이 양호하였던 PAM처리에서 엽수가 14.6매로 가장 많았고 K-CES도 14.0매로 매우 높았다. 엽폭과 엽장에서도 PAM이 각각 2.9와 14.6cm로 가장 컸으며 K-CES도 각각 2.56과 13.93cm로 무처리의 1.96과 10.68cm에 비하여 매우 높았다. 생체중과 건물중도 PAM이 각각 4.01과 0.55g으로 가장 무거웠고 K-CES가 각각 3.89와 0.52g으로 매우 높았다. 이러한 결과는 토양에 처리한 흡수성 고분자인 PAM과 K-CES가 토양의 물리화학적 개선을 시금치의 수량을 증가시키는 것으로 사료되어 이 부분에 대한 연구가 필요할 듯하다.

시금치의 파종 이후 수확까지의 기간 중 바이오톤 내부의 광도가 약하여 노지에서 재배하는 것에 비하여 생육이 좋지 못하였고, 너무 일찍 수확한 듯하여 무처리와 비교하였을 때 커다란 차이가 없는 듯하나 광도가 충분한 자연광을 이용한 시설 내에서의 재배와 생육기간을 충분히 연장해 준다면 흡수성 고분자의 처리 효과가 더욱 크게 나타날 것으로 사료되었다. 그리고 CES의 제조시 일반적으로 전분의 팽윤을 위하여 NaOH 용액을 사용하여 Na-CES 형태로 제조하지만, 본 실험에서는 식물체에 다량으로 필요한 K 성분을 제공하기 위하여 KOH 용액을 사용하여 K-CES 형으로 제조하였다. 그러나 제조한 K-CES가 토양과 식물체의 물리화학적 성질에 미치는 영향에 대하여 연구가 필요

할 것으로 사료되었다. 또한 이러한 흡수성 고분자의 제조상에서 나타난 문제점으로, 제조 후 제품화 단계의 입자크기가 흡수력과 수분 흡수 이후의 겔 형성, 그리고 겔의 강도에 커다란 영향을 미치기 때문에 건조한 후에 알맞은 흡수력을 가질 수 있는 입자크기가 반드시 필요하며, 처리방법에 있어서도 일반적인 처리법은 수용성 고분자 적정량을 물에 타서 일정한 시간이 경과한 후 충분히 수분 흡수가 완료된 다음 토양에 처리하여 작물을 재배하고 있으나, 작물의 종자를 겔 상태로 만든 흡수성 고분자에 침중하여 유체파종기로 파종하는 방법 또한 좋은 처리법으로 사료된다. 그러나 이 방법을 사용하기 위해서는 별도의 유체파종기가 필요하기 때문에 무엇보다도 값이 싼 유체파종기의 개발이 시급한 과제이며, 각각의 작물에 적합한 파종량과 파종기 내의 겔강도를 조절하기 위하여 사용하는 흡수성 고분자의 흡수력 조절 등 몇 가지 어려운 문제점에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

적 요

타피오카 전분을 이용하여 제조한 흡수성 고분자 K-CES (potassium-cyanoethylstarch)와 합성계 고분자인 PAM (polyacrylamide) 처리가 시금치의 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 타피오카 전분에 아크릴로니트릴을 반응시켜 시아노에틸화 전분을 제조하고, FT-IR 분석으로 니트릴기의 도입을 확인하였다. 제조한 K-CES와 PAM의 증류수에 대한 흡수력은 PAM이 47.8배로 K-CES의 37.6배에 비하여 다소 높았으나, HNO₃, H₃PO₄, K₂SO₄ 1% 용액에서는 PAM의 흡수력이 매우 감소하여 전해질 용액의 농도가 높을수록 K-CES의 흡수력이 클 것으로 생각되었다. PAM과 K-CES처리에 의해 시금치 초기생육의 촉진과 수량이 증가되어 흡수성 고분자 처리가 작물의 증수

에 매우 효과적이었다.

추가 주요어: 흡수력, 전해질 용액, 시금치

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.
- Fushimi, T. 1993. Practical application of polymeric gel. *Sen-i Gakkaishi*. 49:108-117.
- Jeong, M. J., Y. M. Cho, S. H. Jeong, M. K. Jeong, B. M. Jo, and J. S. Oh. 1998. Manufacture and effects of modified starch for papermaking. *Cyanoethylation of native corn starch*. *Kor. Soc. Wood Sci. Tech. Annu. Meeting*. 288-293.
- Levy, G. J., J. Levin, M. Gal, M. Ben-Hur, and I. Shainberg. 1992. Polymer's effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:902-907.
- Masuda, H. 1982. Super absorbent polymer (II). *Koubunshikakou*. 31(8): 21-25.
- Masuda, H. 1987. Super absorbent polymer. *Kyouritsushyutpan*. p.52.
- McMurry, J. 1995. *Organic chemistry*, 4th ed. Books/Cole Publishing Co. p.844.
- Sakashima, K., I. Sakata, and R. Senju. 1969. A study on the reaction speed of cyanoethyled starch. *Kougyoukagaku-zutatshi*. 72 (7) :136-142.
- Schamp, N. and J. Huylebroeck. 1972. Physical chemical interaction of polyacrylamide on clay particles. In: M. F. DeBoodt (ed.). *Proc. symp. on fundamentals of soil conditioning*. Ghent, Belgium, 17-2 April 1972. 37(3): 1150-1159.
- Smith, H. J., G. J. Levy, and I. Shainberg. 1990. Water-droplet energy and soil amendments: Effect on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1084-1087.
- Sugimura, Y. and T. Takeno. 1982. Possible use of super absorbent polymer in agriculture. *Chemical control of plant*. 17(2): 153-156.
- Toyama, M., Y. Takeuchi, Y. Nakade, and K. Sugimoto. 1984. Studies on afforestation in arid zone by utilization of water holding substances(VII). Effects on outdoor culture of vegetables. *Bull. Sand Dune Res. Inst.* 32(1):1-13.
- Toyama, M., Y. Takeuchi, Y. Nakanishi, and T. Yamada. 1987. Studies on spinach (*Spinacea oleracea*) cultivation in summer (III). Effects of mixture of water holding substances with sand on yield of spinach. *Bull. Sand Dune Res. Inst. Tottori Univ.* 26:59-66.
- Wallace, A. and G. A. Wallace. 1986a. Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings. *Soil Science* 141(5):321-323.
- Wallace, A. and G. A. Wallace. 1986b. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soil. *Soil Science* 141(5):324-327.