

ORIGINAL ARTICLE

고농도 염화칼슘 농도처리에 따른 토양개량제와 구절초의 염분저감 상승효과

윤용한 · 양지¹⁾ · 박제민¹⁾ · 주진희*

건국대학교 녹색기술융합학과, ¹⁾건국대학교 일반대학원 녹색기술융합학과

Synergistic Effects for Remediation of Salt-affected Soil using *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* and Soil Amendments under High-concentration Calcium Chloride

Yong-Han Yoon, Ji Yang¹⁾, Je-Min Park¹⁾, Jin-Hee Ju*

Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

¹⁾Department of Green Technology Convergence, Graduate School of Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

This study aimed to investigate the effects of soil amendment (heat-expanded clay and active carbon) and planting of *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* on the remediation of salt-affected soil and the plant growth under high calcium chloride (CaCl₂) concentration. The experimental group comprised treatments including Non treatment (Cont.), heat-expanded clay (H), active carbon (AC), planting (P), heat-expanded clay+planting (H+P), active carbon+planting (AC+P). A 200 mL solution of CaCl₂ at a concentration of 10 g·L⁻¹ was applied as irrigation once every 2 weeks. Compared to the Cont., the incorporation of the 'heat-expanded clay' amendment decreased electrical conductivity of the soil leachate and cation exchange capacity, whereas the growth of *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* was relatively increased. These results suggest that the combination of 'heat-expanded clay' amendment and planting will mitigate negative effect of de-icing salts and improve plant growth in salt-contaminated roadside soils.

Key words : De-icing salts, Heat-expanded clay, Salt-tolerant plants, Soil-plant continuum, Road salt retention

1. 서론

동절기 도로의 안전을 위하여 사용하는 제설제는 염화물계, 비염화물계로 구분되며, 일반적으로 사용되는 제설제는 염화칼슘(CaCl₂), 염화나트륨(NaCl)과 같은 염화물계가 주성분으로, 국내에서는 대부분 염화칼슘을

주로 사용하고 있다(Kim and Yang, 2017). 2000년대 이후부터는 염화칼슘과 염화나트륨을 혼합하여 사용하는 습염살포방식을 도입하여 고체소금을 염화칼슘 수용액에 희석하여 도로에 살포하고 있다(Heo and Lee, 2017). 그러나 Na⁺, Cl⁻ 등은 도로주변 토양에 누적되고 (Kim et al., 2012), 토양에 다량 존재하는 염 성분은

Received 13 July, 2021; Revised 7 September, 2021;

Accepted 14 September, 2021

*Corresponding author: Jin-Hee Ju, Department of Green Technology Convergence, Konkuk University - Glocal Campus, Chungju 27478, Korea
Phone : +82-43-840-3541
E-mail : jjhkke@kku.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

경우에 따라 토양의 통기성 및 투수성을 불량하게 하거나 식물에 독성을 일으키기도 하고 양분 흡수 불균형을 일으키는 등 부정적인 영향을 줄 수 있다(Lee et al., 2019). 이에 국내의 경우 염화물계 제설제 피해를 방지하기 위한 식물의 내염성 검증에 대한 연구가 집중된 바, 염화칼슘 처리에 따른 상록 관목류의 생육 및 생리반응(Ju et al., 2016) 등 다수 진행되어 왔다. 그럼에도 불구하고 대부분의 연구는 제설제 농도에 따른 한계 염농도에 대한 검증에 초점을 맞추고 있어 가로변 제설제 피해 현장에 적용 가능한 자생 초화류와 토양개량제에 관한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 염화칼슘 농도 처리에 따른 토양개량제와 구절초 식재 간 토양-식물체 연속처리(soil-plant continuum)가 토양 염분저감 상승효과를 검토하여 제설제 피해지 토양에 활용할 수 있는 염류 저감기법을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지

본 연구는 2018년 4월부터 10월까지 충북 충주시 건국대학교 글로컬캠퍼스 내 유리온실에서 수행하였으며, 실험기간 동안 환경조건은 평균기온 12.87°C, 일조시간 합계는 248.9 hr. 이었다.

2.2. 공시재료

공시토양으로는 코코피트 74.84%, 질석 15%, 흑운모 5%, 펄라이트 5%, 비료 0.158%, 습윤제 0.002%로 이루어진 인공배합토 한판승(Han Pan-Seung, Sgtech, Korea)을 사용했다. 토양개량제는 다공질 소재인 지름 8 mm인 황토볼(Hwangto-Ball, YKbio, Korea)과 규격 8 × 30 mesh인 입상활성탄(Activated charcoal, YAKURI Pure Chemicals, Japan)을 사용하였다. 염화칼슘은 국내에서 보편적으로 사용하고 있는 제설염 종류인 순도 74% 염화칼슘 분말(CaCl₂, Oriental Chemical Industries, Korea)을 사용하였다. 공시식물로서 국화과 다년생 초화류로 화단 및 가로변 지피초화류로 많이 이용되는(Shin and Yun, 2006), 구절초(*Dendranthema zawadskii* var. *latilobum*)를 선정하였다.

2.3. 처리구조성

각 처리구는 직경 10 cm, 높이 9 cm의 플라스틱 포트

에 부직포를 깔고, 인공배합토 100 g을 채운 뒤 구절초 모종을 10반복 정식하였다. 토양침출수 집수는 지름 14 cm의 플라스틱 용기를 포트 하부에 반쳐놓았다. 토양개량제 처리는 상토대비 활성탄을 20% 혼합하였으며, 황토볼 또한 동일하게 처리하였다. 염화칼슘 농도는 무처리, 1, 2, 5, 10 g·L⁻¹ (이하 Cont., C1, C2, C5, C10로 표기)로 5가지 염화칼슘 수용액을 조제하였고, 2주 1회 200 mL 관수하였다. 더불어 고농도 염화칼슘 처리에서 토양개량제와 구절초 식재간 연속기법의 효용성을 검증하기 위해 대조구(C10), 황토볼, 활성탄, 식재, 황토볼+식재, 활성탄+식재 (이하 Cont., H, AC, P, H+P, AC+P로 표기) 등 총 6가지 처리구로 구분하여 조성하였다.

2.4. 측정 및 분석방법

토양침출수의 분석은 시료 채취 후 5B 여과지(Adventec, filter paper No. 5B, Japan)로 여과하여 전기전도도(ST-3100C, Ohaus Crop, USA)와 산도(ST-3100pH, Ohaus Corp, USA)를 측정하였으며 염화칼슘 농도에 따른 토양 내 염류계 치환성양이온 함량 변화를 알아보기 위하여 유도결합 플라즈마 원자방출분광기(ICP OES DV-5300, PerkinElmer, USA)를 이용하여 염류계 치환성양이온(K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺) 함량을 분석하였다. 생육측정은 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 등을 조사하였다. 건물중은 실험종료 후 식물재료를 채취하여 지상부, 지하부 생체중을 잴 뒤, 열풍건조기(C-DF, Changshin Sci Co, Korea)를 이용하여 70°C에서 48시간 건조한 후 무게를 잰다. 모든 측정은 시료 당 3반복 평균값을 사용하였다. 수집된 데이터는 PASW statistics 18(SPSS Inc., USA) 프로그램을 이용해 ANOVA test로 각 처리 간 차이를 분석하였고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 이용하여 5% 유의수준에서 처리 평균 간 차이를 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양침출수 특성

3.1.1. 염화칼슘 농도처리

염화칼슘 농도처리에 따른 토양침출수의 산도는 Cont. (7.04), C1 (6.27), C2 (5.81), C5 (5.72), C10 (5.46) 순으로 처리농도가 높아질수록 낮아지는 경향을

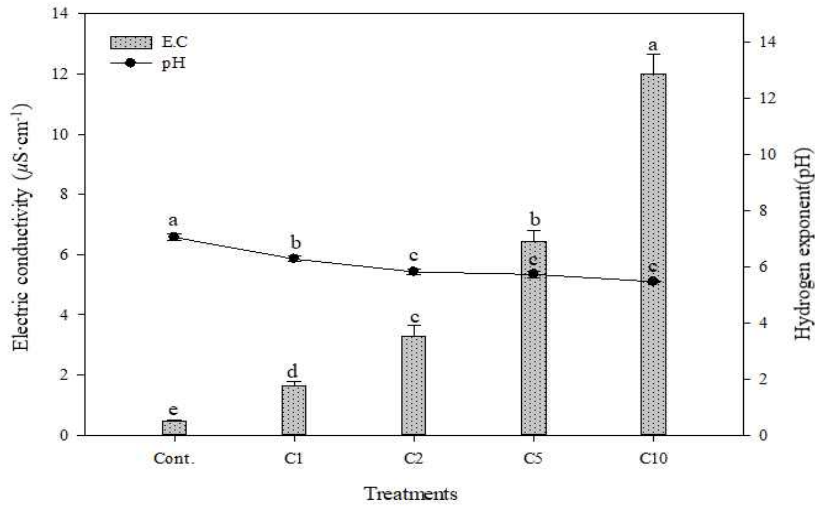


Fig. 1. Hydrogen exponent and electric conductivity in the leachate from substrate grown *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* at various calcium chloride (CaCl₂) concentrations. Cont.; Control, C1, C2, C5, C10; CaCl₂ 1, 2, 5, 10 g·L⁻¹ respectively. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

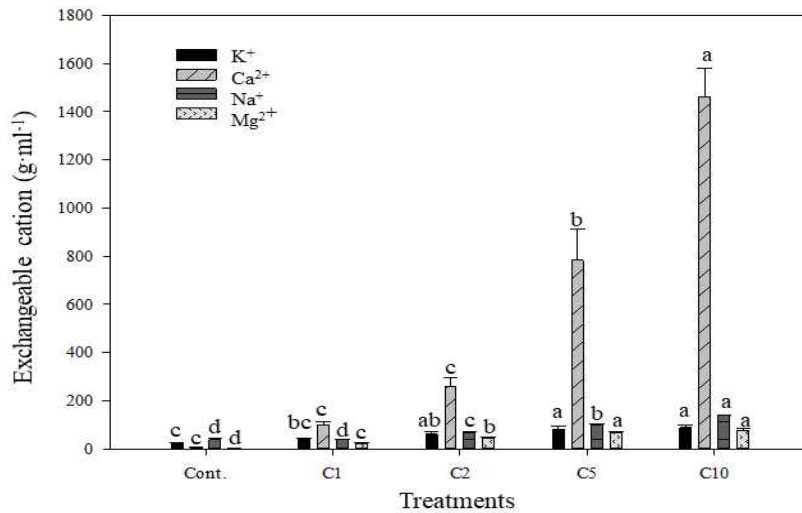


Fig. 2. Concentrations of chloride-based exchangeable cations (K⁺, Ca²⁺, Na⁺, and Mg²⁺) in the leachate from substrate grown *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* at various calcium chloride (CaCl₂) concentrations. Cont.; Control, C1, C2, C5, C10; CaCl₂ 1, 2, 5, 10 g·L⁻¹ respectively. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

보였다. 이는 염소이온이 물분자에서 수소이온과 결합하여 강산성인 염산을 생성하게 됨으로써 염화칼슘 처리농도가 높을수록 산성을 띠는 것으로 해석된다. 전기전도

도는 Cont. (0.47 µS·cm⁻¹), C1 (1.62 µS·cm⁻¹), C2 (3.29 µS·cm⁻¹), C5 (6.43 µS·cm⁻¹), C10 (11.99 µS·cm⁻¹) 순으로 농도가 높아질수록 유의적으로 급증하는

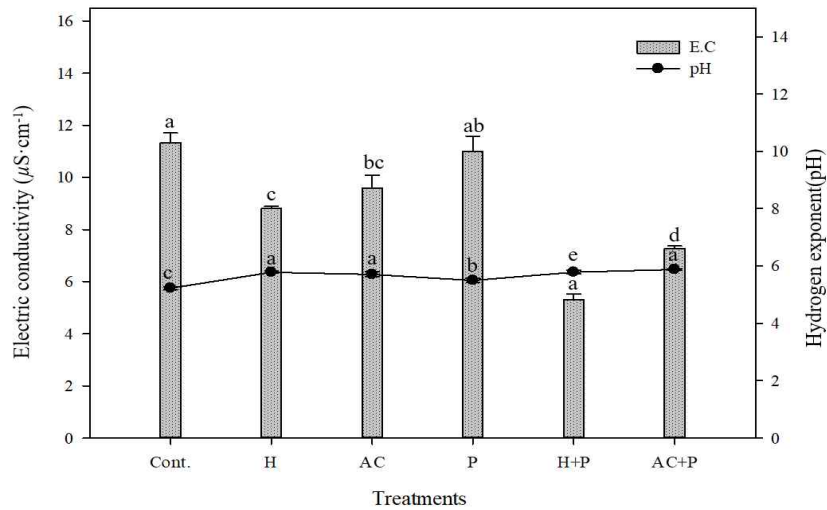


Fig. 3. Electric conductivity and hydrogen exponent in the salt-contaminated soil leachate taken from *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* as effected by soil amendments. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ ($n = 15$). (Cont.; treatment with $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 solution, H; Heat-expanded clay, AC; active charcoal, P; Planting, H+P; Heat-expanded clay+P, AC+P; active charcoal+P).

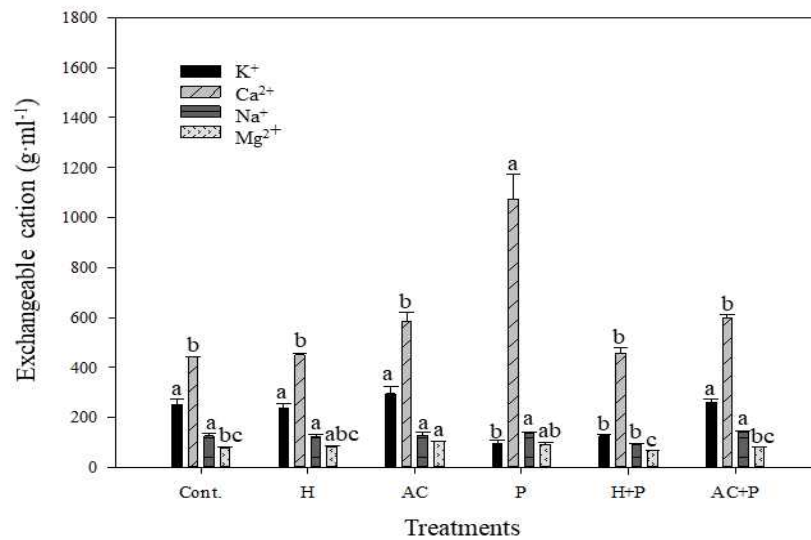


Fig. 4. Levels of soil exchangeable cations (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) in the salt-contaminated soil leachate taken from *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* as effected by soil amendments. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ ($n = 15$). (Cont.; treatment with $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 solution, H; Heat-expanded clay, AC; active charcoal, P; Planting, H+P; Heat-expanded clay+P, AC+P; active charcoal+P).

Table 1. Plant height, leaf length, leaf width, number of leaves of the *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* at various calcium chloride (CaCl₂) concentrations

Treatment ^y	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves
Cont.	28.34 abc	10.30 a	5.14 a	24.42 ab
C1	32.08 ab	9.24 a	4.37 a	23.42 ab
C2	28.98 ab	8.84 ab	4.28 a	23.42 ab
C5	24.78 abc	8.30 abc	3.05 bc	18.71 b
C10	14.32 c	7.04 c	2.91 bc	18.42 b
Significance ^x	**	**	**	**

^aMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5 % level.

^yCont.; non-treatment, C1, C2, C5, C10; CaCl₂ 1, 2, 5, 10 g/L.

^xSignificance was determined by ANOVA. ^{ns}Nonsignificant, *, ** means significant at $p \leq 0.05, 0.01$ respectively.

경향을 보였는데, 이러한 결과는 농도가 높아질수록 토양침출수 내 함유된 이온함량이 많아 전기전도도가 증가한 것으로 보인다(Fig. 1).

염화칼슘 농도에 따른 염류계 치환성양이온 함량은 염화칼슘 처리가 높아질수록 전반적으로 염류계 치환성 양이온이 증가하는데 특히 칼슘 이온이 Cont., C1, C2, C5, C10 순으로 증가되는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2).

3.1.2. 토양개량제 처리

토양침출수 내 산도는 AC+P, H+P, H, AC, P, Cont. 처리구 순으로 낮아졌다(Fig. 3). 염화칼슘 농도가 높아짐에 따라 산도가 전반적으로 낮아졌던 결과와 비교하여 볼 때, 황토볼+구절초와 활성탄+구절초 처리구에서 산도가 높아진 것은 침출수 내 염분이 저감되었기 때문인 것으로 해석된다. 전기전도도는 Cont., P, AC, H, AC+P, H+P 순으로 낮아졌는데, 이는 황토볼+구절초 처리구에서 염분저감이 가장 높은 것으로 나타났다.

토양개량제에 따른 침출수 내 칼슘이온은 P, AC, AC+P, H+P, H, Cont. 순으로 높아져 구절초 단일처리보다 황토볼+구절초 또는 활성탄+구절초 혼합처리에서 제염효과가 가장 높았던 것으로 보인다(Fig. 4). 특히 황토볼처리구에서 염화물계 치환성양이온 저감효과가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 수용액 중 양이온을 포함한 경우 점토광물에 강하게 흡착되어 응집이 일어나 수용액 내 이온함량이 감소해(Park et al., 2009) 토양침출수 내 염류계 치환성양이온 함량이 감소한 것이라 해석된다.

3.2. 식물생육특성

3.2.1. 염화칼슘 농도처리

염화칼슘 농도에 따른 구절초의 생육측정 결과는 다음과 같다(Table 1). 초장은 C1 (32.08 cm), C2 (28.98 cm), Cont. (28.34 cm), C5 (24.78 cm), C10 (14.32 cm) 순으로 대조구에 비해 C1에서 5 cm가 더 큰 수치를 보였다. 엽장은 Cont. (10.30 cm), C1 (9.24 cm), C2 (8.84 cm), C5 (8.30 cm), C10 (7.04 cm) 엽폭은 Cont. (5.14 cm), C1 (4.37 cm), C2 (4.28 cm), C5 (3.05 cm), C10 (2.91 cm)로 엽장과 엽폭이 동일한 경향을 보였다. 엽수 또한 Cont. (24.42), C1 (23.42), C2 (23.42), C5 (18.71), C10 (18.42)로 대조구를 제외한 C1, C2 처리구에서 가장 많았다.

3.2.2. 토양개량제 처리

고농도 염화칼슘처리에서 토양개량제와 구절초 식재 처리에 따른 구절초의 생육은 다음과 같다(Table 2). 구절초의 초장은 H+P처리구 (35.30 cm)에서 P처리구 (14.32 cm)보다 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 엽장과 엽폭, 엽수 등은 H+P처리구가 P처리구보다 유의적으로 높은 수치를 보였으며, AC+P처리구 또한 비슷한 수준을 보였다. 전반적으로 구절초 단일 식재한 P처리구보다 H+P처리구에서 생육이 가장 양호한 결과를 보였다. 이는 황토볼의 높은 이온 흡수력으로 인해 식물생육에 긍정적 영향을 끼친 결과라 판단된다(Na et al., 2013). AC+P처리구 또한 H+P처리구보다 낮았으나 구절초 단일처리보다 양호한 생육상태를 보여 활성탄 또한

Table 2. Plant height, leaf length, leaf width, number of leaves of the *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* as affected by calcium chloride (CaCl₂) concentration and soil amendments.

Treatment ^y	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves
P	14.32 c	7.04 c	2.91 bc	18.42 b
H+P	35.30 a	7.81 a	3.92 ab	29.42 a
AC+P	18.12 bc	6.50 bc	2.82 c	27.14 a
Significance ^x	**	**	**	**

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5 % level.

^yP; Planting, H+P; Heat-expanded clay+P, AC+P; Active charcoal+P.

^xSignificance was determined by ANOVA. ^{ns}nonsignificant, *, ** means significant at $p \leq 0.05, 0.01$ respectively.

구절초 생육에 긍정적 영향을 준 것이라 판단된다(Park et al., 2004).

4. 결론

본 연구는 제설제 피해지에 적용 가능한 토양개량제와 구절초 간 혼합처리에 따른 염분저감 효과를 검증하여 토양-식물 연속체 기법의 효과를 규명하고자 수행하였다. 염화칼슘 농도처리에 따른 식물생육은 전반적으로 Cont., C1, C2 처리구에서 양호한 생육을 보였으며, C10 처리구에서 생육이 저하되었다. 고농도의 염화칼슘 처리(C10)에서 식재 단일처리구보다 토양개량제와의 복합처리구에서 가장 양호한 생육을 보였다. 이러한 결과는 가로변 염해 피해지에 구절초 식재 시 토양개량제와의 토양-식물체 연속기법(soil-plant continuum)이 염류저감에 효용성이 높음을 시사한다고 하겠다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018 R1A1A3A04078467)

REFERENCES

Heo, H. S., Lee, B. J., 2017, Evaluation of the properties of an environment-friendly de-icing agent based industrial by-products, J. Korea Inst. Struct. Maint. Insp., 21, 132-139.
 Ju, J. H., Park, J. Y., Xu, H., Lee, E. Y., Hyun, K. H., Jung, J.

S., Choi, E. Y., Yoon, Y. H., 2016, Growth and physiological response of three evergreen shrubs to de-icing salt (CaCl₂) at different concentrations in winter - focusing on *Euonymus japonica*, *Rhodoendron indicum*, and *Buxus koreana* -, J. Korean Inst. Landsc. Archit., 44, 122-129.
 Kim, J. G., Yang, C. H., 2017, Evaluation of reasonableness of the recommended spraying amount equation for de-icing chemicals, Int. J. Highw. Eng., 19, 9-18.
 Kim, M. S., Koo, N. I., Kim, J. G., Yang, J. E., Lee, J. S., Bak, G. I., 2012, Effects of soil amendments on the early growth and heavy metal accumulation of *Brassica campestris* ssp. *Chinensis* Jusl. in heavy metal-contaminated soil, Korean J. Soil Sci. Fert., 45, 961-967.
 Lee, C. K., Seo, K. W., Lee, G. J., Choi, G. J., Ahn, B. K., Ahn, M. S., Seo, D. S., Yun, S. I., 2019, Nutrient uptake and growth of watermelons in DTPA-treated saline soil in a plastic film greenhouse, Korean J. Hortic. Sci. Technol., 37, 32-41.
 Na, T. S., Choi, K. J., Yoon, B. G., Cho, M. S., Kim, H. G., Kim, H. J., Son, D. M., Yoo, Y. K., 2013, Effect of mixture media of red clay and peatmoss on quality and drainage solution in hydroponics of *Solanum lycopersicum* 'Mascara', J. Bio-Env. Con., 22, 1-6.
 Shin, Y. S., Yun, S. Y., 2006, Effect of soil mixture on the growth of *Chrysanthemum zawadskii* var. *latilobum* KITAMURA, 19, 68-75.
 Park, B. K., Kim, K. M., Kim, Y. I., Yum, S. Y., Lee, J. W., Hyung, S. W., Hwang, J. H., Kim, Y. M., Kong, M. H., Kim, C. B., Yul, R., 2009, Effect of cation and ionic strength on dispersion and coagulation of hwangto and clay minerals, J. Miner. Soc. Korea, 22, 249-259.

Park, S. O., Park, K. W., Lee, G. P., Kim, M. J., Lee, J. H.,
2004, Effects of soil conditioners on the growth of
cucumber and tomato, J. Bio-Env. Con., 13, 194-199.

-
- Professor. Yong-Han Yoon
Department of Green Technology Convergence, College of
Science Technology, Konkuk University
yonghan7204@kku.ac.kr
 - Doctoral degree. Ji Yang
Department of Green Technology Convergence, Graduate
School of Konkuk University
politeyang@naver.com

-
- Master's course. Je-Min Park
Department of Green Technology Convergence, Graduate
School of Konkuk University
pjm6045@kku.ac.kr
 - Professor. JIn-Hee Ju
Department of Green Technology Convergence, College of
Science Technology, Konkuk University
jjhkcc@kku.ac.kr