

시설재배지에서 황산칼리 관비가 염류집적 및 원예작물에 미치는 영향

서영호* · 조병욱 · 문윤기 · 최준근 · 강안석 · 정병찬 · 정영상¹

강원도농업기술원, ¹강원대학교

(접수일: 20년 0월 0일, 수정일: 20년 0월 0일, 게재확정일: 20년 0월 0일)

Potassium Sulfate Fertigation Effect on Salt Accumulation and Vegetable Crops Cultivation in Greenhouse

Youngho Seo*, Byoungouk Cho, Youngi Moon, Junkeun Choi, Anseok Kang, Byeongchan Jeong, and Yeongsang Jung¹

Gangwon Agricultural Research & Extension Services, ¹Kangwon National University

(Received : 00. 00. 2000, Revised : 00. 00. 2000, Accepted : 00. 00, 2000)

Abstract : Salt concentration in greenhouse soils is one of the major factors to determine yield and quality of vegetables and many agricultural practices have been attempted to reduce salt accumulation. This study was conducted to determine the effect of potassium sulfate fertigation on greenhouse salt accumulation and yield and quality of vegetables. Tomato and cucumber were grown in a greenhouse with urea+potassium chloride, urea+potassium sulfate, urea+potassium nitrate, and ammonium nitrate+potassium sulfate. Soil electrical conductivity for potassium sulfate treatment was less than that for potassium chloride. Nutrient contents in leaves, stalk, and fruit of tomato and cucumber was not significantly different among treatments. Antioxidative activity of tomato for potassium sulfate was greater than that for potassium chloride.

Key words : fertigation, potassium sulfate, greenhouse soil, salt accumulation

서 론

시설하우스에서 관비 재배시 집적되는 염류의 관리는 연작이 오래될수록 해결하기 어려운 연작 문제의 하나이다. 시설하우스에서 온도와 토양 수분 등 작물 재배 환경에 대한 조절이 상대적으로 쉬워서 계절과 기상 환경의 한계를 넘어 작물을 연중 재배할 수 있고, 한 해에 여러 번 수확할 수 있음은 하우스 재배의 장점인 반면, 과량의 가축분뇨 비료와 화학비료를 매년 사용하는 경우 토양에 염류가 단기간에 다량 집적될 위험성도 높아진다. 강우 차단과 관수에 의한 인위적인 토양 수분 제어는 시설재배지 토양의 염 농도 상승을 더욱 가속화시킨다. 그 결과 시설재배지 토양의 염 농도는 대체로 높아서, 전기전도도가 2.94 dS m⁻¹로 적정 범위인 2 dS m⁻¹보다 높은 수준이다(Jung 등, 1998).

과다한 염류의 집적은 재배 작물의 수량과 품질의 저하뿐만 아니라 지하수질 등 환경에 대한 악영향을 초래할 우려가 있다. 토양 용액의 염 농도가 높으면 삼투압 작용에 의해 작물의 뿌리가 물을 흡수하는 것을 저해할 수 있으며, 특정 영양분이 과다할 경우 길항 작용에 의해 미량 원소 등 다른 영양분의 식물체 흡수를 방해할 수 있고, 염류가 집적되면 작물의 발아와 생육을 저해할 수 있다(Jung과 Yoo, 1975; Kang 등, 1996). 최근 Lee 등(2008)의 연구에 따르면 염 스트레스를 받은 토마토 잎은 광합성능이 떨어지며, 총 질소와 질산 함량이 낮아졌고, 전기전도도가 6 dS m⁻¹에서는 수용성 당과 전분 함량이 감소하였다. 또한 영양 염류의 과다에 의해 병원균이 증식될 수 있고(Jun과 Park, 2001), 지하수의 질산태 질소 함량이 높아질 수 있다(Lee와 Lee, 1994).

시설재배지 토양의 여러 화학성분 가운데 염소 이온이 토양의 염 농도와 가장 상관관계가 높고, 기여도가 가장 높은 것으로 보고되어 있어(Park 등, 2005), 염소 이온이 시설재배지의 염 농도를 증가시키는 주요인인 것으로 여겨진다. 칼리 질 비료로 가장 많이 쓰여 온 염화칼리의 염소는 토양중의

*Corresponding author: 서영호
강원도 춘천시 우두동 402 농업기술원 환경농업연구과
Tel: +82-33-258-9732; Fax: +82-33-258-9719
E-mail: seoysh@korea.kr

석회 등 양이온과 결합하여도 물에 아주 잘 녹기 때문에 토양의 염 농도를 높이기 쉽다. 이에 비해 황산칼리의 황산은 석회나 탄산석회와 결합하여 물에 녹기 어려운 황산석회를 생성한다. 또한 염화칼리에 비해 황산칼리를 사용하면 마늘의 향기성분이 2~3배 증가되고(Park 등, 1997), 감자의 괴경 건물율이 크게 증가되어(Oh 등, 1985; Kim 등, 1993) 괴경 비중이 높아진다(Berger 등, 1961; Hart와 Smith, 1966; Iritani, 1981).

관비농법은 비료를 녹인 물을 작물에 공급하여 관수와 시비를 동시에 하는 농법으로, 시비 노동력을 줄일 뿐만 아니라 작물 생육단계에 맞추어 작물이 필요로 하는 양분을 시공 간적으로 조절하여 공급함으로써 시비 효율을 높일 수 있다. 일찍이 Kim(1970)은 관비농법이 양분과 수분의 흡수를 촉진시켜 배추, 상추, 시금치, 고구마, 무 등 작물의 생산성을 높인다고 보고한 바 있다. 최근 시설재배지에서 관비 재배하는 농가는 급격히 증가하는 추세이나, 일반 화학비료와 양액재배용 비료의 혼용과 과다 사용에 의하여 작물에 여러 생리장해가 발생되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 시설하우스에서 관비 재배할 때 황산칼리의 사용이 토양 염류집적 및 원예작물의 수량과 품질에 미치는 영향을 구명하고자 2006년부터 2008년까지 3년간 수행되었다.

재료 및 방법

비료 종류에 따른 시설재배지 토양의 염류 집적과 원예작물의 생육 및 수량을 살펴보고자 2006년부터 2008년까지 3년간 강원도농업기술원내 시설하우스에서 토마토와 오이를 표준재배법에 따라 재배하였다. 토양은 용계통으로 양토이며, fine loamy, mixed, mesic Typic Dystrudepts에 속하고, 시험전의 화학성을 Table 1에 나타내었다. 비료를 사용하지 않는 무비 처리와 요소와 함께 칼리질 비료로 염화칼리, 황산칼리, 질산칼리를 각각 이용한 처리, 질산암모늄과 황산칼리를 이용한 처리 등 5처리를 두었다(Table 2). 인산질 비료와 석회질 비료는 검정시비량을 밑거름으로 주었으며, 질소와 칼리는 전량 웃거름으로 관비하였다. 사용량은 Im 등(1999)과 Jung 등(2006)의 결과를 참고하여 토마토는 검정 시비량의 80%, 오이는 검정 시비량의 60%를 사용하였다.

토마토와 오이의 생육 및 수량 조사는 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하였고(농촌진흥청, 2003), 토양과 식물체 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하였다(NIAST, 1988). 토마토와 오이의 엽색도는 엽록소계(Minolta SPAD-502, Japan)를 사용하여 측정하였다. 황산화활성의 측정은 전자공

Table 2. Treatment of the experiment

Treatment	Fertilization rate (kg ha ⁻¹ , N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	
	Tomato	Cucumber
Control	0-0-0	0-0-0
Urea+KCl	196-159-293	142-159-220
Urea+K ₂ SO ₄	196-159-293	142-159-220
Urea+KNO ₃	196-159-293	142-159-220
NH ₄ NO ₃ +K ₂ SO ₄	196-159-293	142-159-220

여능으로부터 추정하였다(Blois, 1958). 토마토와 오이의 생체를 같은 시료 10 g을 10 mL methanol로 추출하고 추출액 0.2 mL에 1 × 10⁻⁴ M DPPH 용액 2.8 mL를 가한 다음 10초간 진탕하고 10분간 반응시켜 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자공여능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율로 나타내었다. 각 시험구의 면적은 7.8 m²로 4반복하였으며, 조사 결과는 SAS를 이용하여 통계 분석하였고, 처리 사이의 유의성 검정은 Duncan 다중검정법으로 하였다.

칼리질 비료의 종류에 따른 토양 염류 집적 양상을 구명하고자 유저 라이시미터에 2007년부터 2008년까지 2년간 토마토와 오이를 표준재배법에 따라 재배하였다. 비료를 사용하지 않는 무비 처리와 칼리질 비료로 염화칼리, 황산칼리, 질산칼리를 각각 이용한 처리 등 4처리를 두었다. 각 시험구의 면적은 1.8 m²였으며, 비료 사용량과 사용방법, 원예작물의 생육과 수량, 토양과 식물체 분석, 통계 분석은 전술한 바와 같다.

결과 및 고찰

3년간 시험한 다음의 토양 화학성은 Table 3과 같다. 토양 산도와 유기물, 유효인산, 치환성 양이온은 비료 종류에 관계 없이 비슷한 반면, 전기전도도는 염화칼리를 사용하였을 때 가장 높았다. 염화칼리의 염도지수를 1로 보면 황산칼리는 0.44로, 염화칼리의 염도지수가 2배 이상 높다. 염도지수는 비료 사용으로 초래된 토양 용액의 삼투압의 증가 비율을 상대적으로 나타낸 값이다(Park, 1984). 비록 염화칼리의 칼리 함량이 60%로 황산칼리보다 높아 같은 양의 칼리를 줄 때 단위면적당 사용량이 적지만, 분자량은 74.6으로 황산칼리의 174.3보다 작아 몰로 환산하면 황산칼리보다 높게 된다. 즉, 삼투압은 몰 농도에 비례하는데, 칼리 1 kg 상당량이 22.6 mole로 황산칼리의 11.0 mole보다 2배가 넘게 되어 염도지수가 높아지게 된다. 또한 황산칼리의 황산은 토양에 있는 석회와 결합하여 용해도가 매우 낮은(물 100 g에 0.064 g 녹음) 황산석회를 형성하기 때문이다. Shin 등(2005)은 간척지에서 황산칼리를 사용했을 때 토양 염류도가 염화칼리에 비해 낮

Table 1. Soil chemical characteristics before the experiment

pH (H ₂ O, 1:5)	Electrical conductivity(1:5) dS m ⁻¹	Organic Matter g kg ⁻¹	Available P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Exchangeable cation		
				K	Ca	Mg
5.1	1.1	13	327	0.24	4.8	1.2

Table 3. Soil chemical characteristics after the study

Treatment	pH*	Electrical conductivity(1 : 5) dS m ⁻¹	Organic Matter g kg ⁻¹	Available P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Exchangeable cation		
					K	Ca	Mg
Control	5.5a	0.6a	12a	260a	0.11a	4.6a	1.2a
Urea+KCl	5.1a	1.4c	14a	398b	0.25b	5.6a	1.3a
Urea+K ₂ SO ₄	5.2a	1.0b	12a	354b	0.22b	4.9a	1.2a
Urea+KNO ₃	5.4a	1.0b	13a	381b	0.22b	5.3a	1.3a
NH ₄ NO ₃ +K ₂ SO ₄	4.9a	1.1b	13a	363b	0.29b	5.0a	1.3a

*Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by t test.

았다고 보고하였다.

칼리질 비료의 종류에 따른 토양 깊이별 전기전도도를 보면(Fig. 1), 황산칼리를 처리했을 때 염화칼리나 질산칼리에 비해 15~30 cm에서 낮았다. Park(1984)에 따르면 음이온 종류에 따른 칼리의 용탈 정도는 염화칼리 = 질산칼리 > 황산칼리 순이다. 이는 염화칼리나 질산칼리에 비해 황산칼리는 용해도가 낮아 심토로의 이동성이 상대적으로 낮기 때문인 듯하다. 또한 황산은 시설재배지에 다량 존재하는 석회 이온과 결합하였을 때에도 용해도가 매우 낮은 황산석회를 형성하는데 비해, 염소와 질산은 용해도가 매우 높은 염화석회와 질산석회를 생성한다. Kim과 Kim(1983)은 황산칼리를 처리했을 때 칼리, 석회, 고토, 암모늄 등 양이온의 용탈이 염화칼리에 비해 낮다고 하였다. 시설재배지에서는 노지와는 달리 빗물의 차단에 의해 토양 염류가 심토에서 표토로 이동하여 집적되는 경향을 고려해 보았을 때, 장기적인 관점에서도 황산칼리의 대체 사용은 토양 염 농도의 상승을 억제하는 효과가 있을 것으로 기대된다. Park(1984)은 칼리질 비료를 다량 사용하거나 계속 사용할 때에는 염화칼리보다 황산칼리를 쓰는 것이 토양 염류가 집적될 위험이 적다고 하였다.

토마토와 오이의 생육은 비료 종류의 영향을 크게 받지 않았다(Table 4, Table 5). 황산칼리 처리의 토마토와 오이의 수량은 염화칼리에 비해 다소 높았으나, 통계적인 유의성이 없

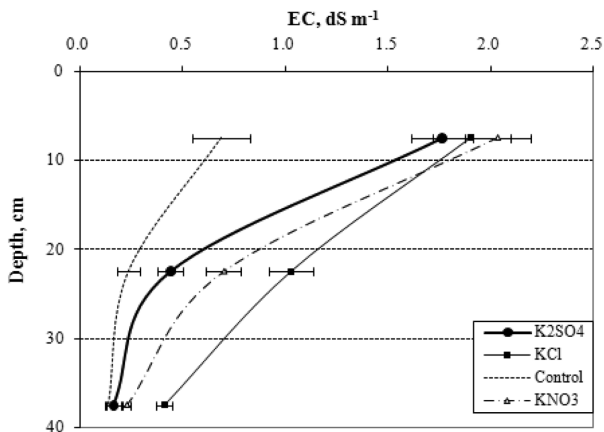


Fig. 1. Effect of potash fertilizer type on soil electronic conductivity profile (lysimeter experiment). Error bars indicate ± 1 standard error.

Table 4. Effect of fertilizer type on leaf greenness, sugar, and marketable yield of tomato

Treatment	SPAD chlorophyll meter*	Yield	
		Sugar Brix	kg 10a ⁻¹
Control	51.4a	4.7a	8,085 a
Urea+KCl	58.7b	6.1b	12,784bc
Urea+K ₂ SO ₄	58.4b	5.4b	14,935 c
Urea+KNO ₃	58.2b	5.3b	14,173 c
NH ₄ NO ₃ +K ₂ SO ₄	58.5b	5.9b	14,675 c

*Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by t test.

Table 5. Effect of fertilizer type on leaf greenness and marketable yield of cucumber

Treatment	SPAD chlorophyll meter*	Yield
		kg 10a ⁻¹
Control	38.1a	2,823a
Urea+KCl	45.6b	4,917b
Urea+K ₂ SO ₄	45.5b	5,531b
Urea+KNO ₃	45.5b	4,806b
NH ₄ NO ₃ +K ₂ SO ₄	45.4b	5,268b

*Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by t test.

었다. 황산칼리가 염화칼리에 비해 감자(Oh 등, 1985), 벼(Kim 등, 1989), 카사바(Howeler와 Spain, 1980), 배추, 무(Oh, 1983), 사료작물(Shin 등, 2005) 등 작물의 수량을 증가시키는 효과는 다수 보고된 바 있다. 황의 사용은 단옥수수 와 알팔파의 수량에도 관여한다(Daigger와 Fox, 1971; Sorensen 등, 1968). 이는 염소 이온에 비해 황산은 수화도가 낮아서 세포 교질의 팽윤도와 삼투압을 낮추고 호흡량과 건물 생산량을 늘리고(Saurat과 Boulay, 1985), 유허 시비에 의해 경엽의 질소 농도와 염록소 함량이 높아져 광합성이 증대되며 인산 흡수가 높아지기(Berger 등, 1961) 때문인 듯하다. 토마토와 같은 과채류는 일반적으로 황 요구량이 많고 염소를 기피한다고 하며, 토마토가 견딜 수 있는 관개용수 중 최대 염소 농도는 4,000 mg L⁻¹(Park, 1984)라고 한다. Oh(1986)는 딸기즙의 환원당과 전당의 함량이 염화칼리보다 황산칼리에서 높았음을 보고하였고, Park(1984)은 염화물이 토마토의 당류 및 아스코르빈산 함량을 저하시키는 반면 황산칼리는

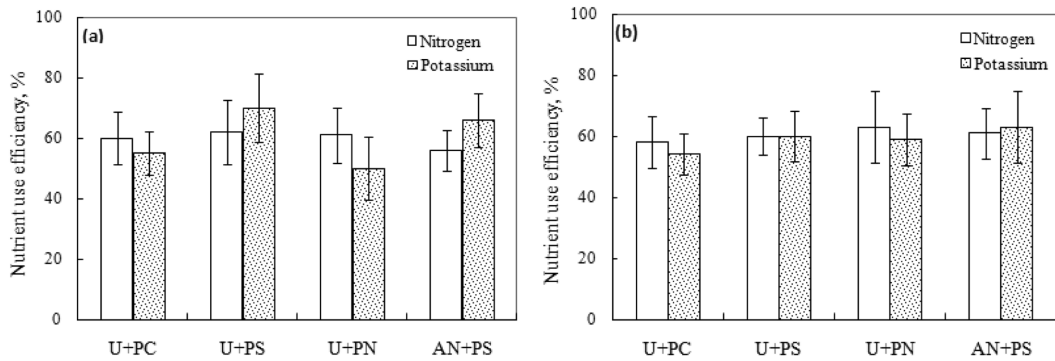


Fig. 2. Nutrient use efficiency for tomato (a) and cucumber (b). Error bars indicate ± 1 standard error. U: urea, PC: potassium chloride, PS: potassium sulfate, PN: potassium nitrate, AN: ammonium nitrate.

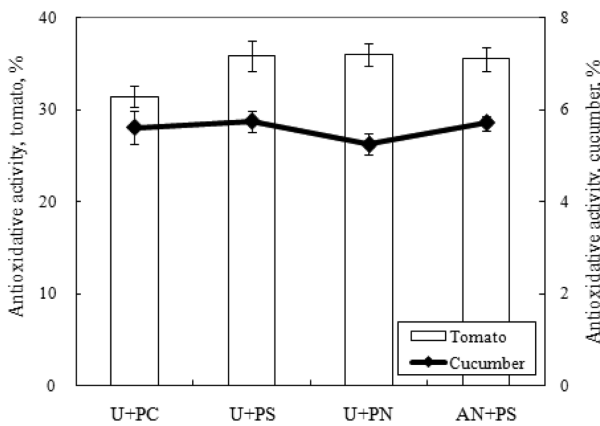


Fig. 3. Antioxidative activity of tomato and cucumber. Error bars indicate ± 1 standard error. U: urea, PC: potassium chloride, PS: potassium sulfate, PN: potassium nitrate, AN: ammonium nitrate.

당 함량을 증가시킨다고 하였으나, 본 연구에서는 그러한 경향을 보이지 않았다.

토마토와 오이의 잎과 과실, 줄기의 질소, 인산, 칼리 등의 함량에 대한 비료 종류의 영향이 크지 않았다. Park(1984)은 염소 함량이 증가함에 따라 토양용액의 pH가 낮아지고 알루미늄 이온이 생겨서 인산 흡수가 감소한다고 하였는데, 본 연구에서는 뚜렷한 경향을 얻지 못했다. 잎과 과실의 칼리 함량도 낮아진다고 하였으나(Park, 1984), 그러한 경향은 나타나지 않았다. 그 결과 비료 종류에 따른 토마토와 오이의 질소와 칼리의 이용율은 처리간에 통계적인 유의성 있는 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

황산칼리나 질산칼리를 사용했을 때 토마토의 황산화활성이 염화칼리에 비해 다소 높았다(Fig. 3). 오이에서는 토마토에 비해 황산화활성도 낮고 비료 종류 사이의 차이도 크지 않았다.

결론

시설재배지에서 황산칼리의 관비 시용이 토양 염류집적 및

원예작물의 수량과 품질에 미치는 영향을 구명하고자 3년간 시설하우스에서 관비재배 시험을 수행하였다. 황산칼리를 옷거름으로 관비하였을 때 염화칼리에 비하여 토양 염류 집적은 경감되었으며, 토마토와 오이의 수량은 비료 종류 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 황산칼리를 사용했을 때 잎과 줄기, 과실의 양분 함량과 양분 이용율은 염화칼리와 대등하였으며, 황산칼리의 시용은 염화칼리에 비해 토마토의 황산화활성을 높였다.

참고문헌

- Berger, K.C., P.E. Potterton, and E.L. Hobson. 1961. Yield, quality, and phosphorus uptake of potatoes as influenced by placement and composition of potassium fertilizers. *Am. Potato J.* 38: 272-285.
- Blois, M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 4617: 1199-1200.
- Daigger, L.A. and R.L. Fox. 1971. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. *Agron. J.* 63: 729-730.
- Hart, T.G. and O. Smith. 1966. Effect of levels and sources of potassium on absorption of phosphorus by potato plants. *Am. Potato J.* 43: 217-235.
- Howeler, R.H. and J.M. Spain. 1980. The effects of potassium manuring on some crops in the tropical climate. *Potash Review*. Subject 16, 83rd Suite.
- Im, J.H. and J.M. Park. 1999. Establishment of optimum fertilizer application rates in fertigation system for tomato. Report of Horticultural Research and Development. 281-285. Suwon. Korea.
- Iritani, W.M. 1981. Growth and preharvest stress and processing quality of potatoes. *Am. Potato J.* 58: 71-80.
- Jun, H.S. and W.C. Park. 2001. Soil chemical characteristics and comparison with infested status of nematode(*Meloidogyne* spp.) in plastic house continuously cultivated oriental melon in Songju. *Kor. J. Environ. Agric.* 20: 127-132.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci.*

- Fert. 31: 9-15.
10. Jung, B.G., H.J. Jun, Y.S. Song, and K.S. Lee. 2006. Establishment of optimum nitrogen application rates in fertigation system for vegetable cultivation. 2005 Agricultural Environment Research. pp270-289. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea
 11. Jung, Y.S. and S.H. Yoo. 1975. Effect of watering on alleviation of soluble salts in the vinyl house soils. Korean J. Soil Sci. Fert. 8: 53-60.
 12. Kang, B.G., I.M. Jeong, K.B. Min, and J.J. Kim. 1996. Effect of salt accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Korean J. Soil Sci. Fert. 29: 360-364.
 13. Kim, J.G., J.S. Lee, C.H. Ryu, and G.H. Park. 1989. Salt damage depending on potash fertilizers in reclaimed tidal land. Report of Research and Development. pp518-521. National Honam Agricultural Experiment Station. Iksan. Korea.
 14. Kim, K.S. and Y.W. Kim. 1983. Studies on the leaching constituent of submerged soil 1. Effects of potassium salts on leaching of minerals in submerged soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 16: 36-41.
 15. Kim, S.Y., J.K. Kim, B.H. Hahn, and J.C. Chae. 1993. Effects of nitrogen and potassium application on the growth, tuber yield and dry matter content of potatoes(*Solanum tuberosum* L.). RDA. J. Agri. Sci. 35: 550-559.
 16. Kim, Y.C. 1970. Studies on the nutri-irrigation culture applicable to sandy waste lands 1. Studies on productivity and mineral constitution of nutri-riirigation culture. Kor. J. Hort. Sci. 8: 93-105.
 17. Lee, J.Y., B.C. Jang, S.Y. Lee, J.H. Park, G.H. Choi, S.C. Kim, and T.W. Kim. 2008. Growth response and changes of nitrate and sucrose content in tomato under salt stress condition. Korean J. Soil Sci. Fert. 41: 164-169.
 18. Lee, S.E. and C.S. Lee. 1994. Nutrient balance and application efficiency of nitrogen and potassium in salt-accumulated greenhouse soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 27: 78-84.
 19. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 1988. Methods of Soil Chemical Analysis. Sammi press. Suwon. Korea.
 20. Oh, W.G., B.W. Choi., and C.K. Park. 1985. Comparison of the effect of a compound fertilizer blended with muriate, sulphate of potash and for potato yield. Korean J. Soil Sci. Fert. 18: 201-207.
 21. Oh, W.K. 1983. Soil Management and Fertilizer for High Yield Cultivation of Vegetables. Potash Research Association. Seoul. Korea.
 22. Oh, W.K. 1986. The effect of strawberry compound fertilizer, potassium chloride, potassium sulphate and ammonium nitrate on the yield and quality of strawberry. Korean J. Soil Sci. Fert. 19: 9-13.
 23. Park, C.S. 1984. Potassium Chloride and Potassium Sulphate. Potash Research Association. Seoul. Korea.
 24. Park, H.M., J.O. Kim, U.G. Kang, H.W. Kang, and K.B. Park. 1997. Effects of sulfur and potassium sulfate application on yields and volatile compounds by garlic(*Allium sativum* L.) varieties. RDA. J. Agro-Envir. Sci. 39: 35-39.
 25. Park, Y.H., Y. Lee, S.C. Kim, J.S. Noh, K.L. Park and J.Y. Lee. 2005. Integrated nutrient management for greenhouse crops. 2004 Agricultural Environment Research. pp459-476. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
 26. Saurat, A. and H. Boulay. 1985. Sulphate of potash fertilizer. Potash Review. Subject 16, Potash fertilizers and manuring, 103rd Suite.
 27. Shin, J.S., S.H. Lee, W.H. Kim, J.G. Kim, S.H. Yoon, and K.B. Lim. 2005. Effects of ammonium sulfate and potassium sulfate fertilizer on dry matter yield and forage quality of sorghumsudangrass hybrid in reclaimed tidal land. J. Korean Grassl. Sci. 25: 245-250.
 28. Sorensen, R.C., E.J. Penas, and U.U. Alexander. 1968. Sulfur content and yield of alfalfa in relation to plant nitrogen and sulfur fertilization. Agron. J. 60: 20-22.