Korean J. Plant Res. 27(4):354-358(2014)
http://dx.doi.org/10.7732/kjpr.2014.27.4.354

Print ISSN 1226-3591
Online ISSN 2287-8203

Original Research Article

열무 생육을 통한 유황벤토나이트 혼합 비료의 효과

남기웅[1], 윤덕훈[2]*

[1]국립한경대학교 원예학과, [2]국립한경대학교 국제농업기술정보연구소

Effects of Sulphur Bentonite Mixture Fertilizer for the Growth of Young Radish (*Raphanus sativus* L.)

Ki-Woong Nam[1] and Deok-Hoon Yoon[2]*

[1]Department of Horticulture, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea
[2]Research Institute of International Agriculture, Technology and Information, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

Abstract - Field study was conducted to evaluate the agronomic effectiveness of sulphur-bentonite fertilizer. Soil pH was slightly lower tendency to the increase of sulphur-bentonite fertilization, but did not indicate a sharp decline in soil pH. The T-N contents in the 6 ㎏/1000 ㎡ plot was higher to 700 ㎎/㎏ and the organic matter content was 1.29% in the 3 ㎏/1000 ㎡ plot. The content of available-P was also increased to 289 ㎎/㎏ in the 6 ㎏/1000㎡ plot. The growth characteristics of the young radish (*Raphanus sativus* L.) has significantly more in 3 ㎏/1000 ㎡ plot on upper part, and more on under part in 6 ㎏/1000 ㎡ plot. Therefore, it is concluded that the application of sulphur-bentonite fertilizer was thought to be effective for the chemical characteristics of soil and crop growth enhancement.

Key words - Acidity, Chemical properties, pH, Soil

서 언

우리나라의 전통민간농법에서 열무 재배시 토양에 유황을 첨가하면 수량증가 및 식품으로서의 기능성이 향상되는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2004). 황(sulphur)은 식물생장에 필요한 필수원소 중 다량원소로서 인산과 동량으로 요구되며 단백질 대사 및 효소작용(Morris, 1988; Yoon *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2000)에 관여함으로써 작물의 수량(Feilinger *et al.*, 1972; Oh, 1988) 및 품질(Riley *et al.*, 2000)에 영향을 끼친다. 함유황비료는 화학적 형태에 따라 자연황(S^0, elemental sulphur)과 산화물인 황산물(sulphate)로 나뉘는데, 황산물은 작물에 빨리 흡수 이용되는 반면 용탈에 의한 손실이 크고, 자연황은 높은 황 함량(70~100%)으로 작물 생육 기간 중 지속적으로 흡수 이용될 수 있으며 용탈에 의한 손실이 적은 장점(Boswell and Friesen, 1993; Riley *et al.*, 2000)이 있다.

우리나라에서는 1967년 요소비료를 본격적으로 생산하여 질소질비료의 주종이 함유황비료인 유안에서 요소로 바뀌게 되었는데(Ryu and Han, 1988), 그 과정에서 황은 토양산성화와 추락답에서의 추락현상(Akiochi phenomena)을 야기한다는 부정적 인식이 확산되어 아직까지 이어지고 있는 실정이다. 그러나 세계적으로 작물재배 토양에서의 황 결핍이 증가하면서 황은 제4의 비료(Germida and Janzen, 1993)로서 관심이 증가되고 있다.

우리나라의 경상남북도 및 강원도 등 동해안의 제3기신층에 분포되어 있는 벤토나이트는 pH가 7.0, 양이온치환용량(CEC)이 60~96 me/100g 및 풍부한 염기함량과 유효규산을 함유하고 있어 토양개량제(Lee *et al.*, 1977)로 사용되기도 하며, 그 밖에 양이온(Moon *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 2008) 및 음이온(Moon *et al.*, 2005)의 흡착 효과가 보고되었으며, 또한 가축분뇨의 악취제거와 비료(Kim *et al.*, 1999)가 보고되어 있다.

본 연구에서는 유황과 벤토나이트를 혼합한 비료의 사용에 따른 토양의 화학성 변화와 열무의 생육 특성을 비교하여 함유황 비료의 적합성을 구명하고자 수행하였다.

*교신저자(E-mail) : tropagri@hknu.ac.kr

ⓒ 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
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.

재료 및 방법

시험구 및 공시비료

시험포장은 충청북도 충주시 소재의 밭으로 토성은 사양토이며 물리화학적 특성은 Table 1과 같다. 공시작물은 톱스타열무(*Raphanus sativus* L., 아시아종묘)를 사용하였으며, 유황에 벤토나이트(IS-Ben, ILSUNG Chemical, Korea)를 10% (Feilinger *et al.*, 1972; Boswell *et al.*, 1988; Nuttall *et al.*, 1990) 혼합한 유황벤토나이트 비료를 공시비료로 사용하였다. 시험구는 무처리구와 유황벤토나이트 비료를 1000 ㎡당 3 kg과 6 kg으로 시비한 처리구로 구분하였으며 난괴법 3 반복으로 시험을 수행하였다.

각 처리구별 면적은 20 ㎡로 열무 종자의 파종은 5월 24일에 하였으며, 비료는 1000 ㎡ 당 3요소(N-P-K)는 3.6-4.4-3.9, 퇴비는 1000 kg을 시험구 면적에 비례한 양으로 계산하여 열무 파종 7일전에 전량 기비로 시용하였다.

토양분석 및 생육특성 조사

토양시료는 열무 수확 후 시험구당 토양 깊이 0~15 ㎝에서 sampling auger (One-piece, Eijkelkamp, The Netherlands)로 채취하였다. 채취한 토양은 풍건 후 2 ㎜ 체를 통과한 세토를 분석시료로 사용하였다. 토양분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 따라 pH와 전기전도도(Electrical Conductivity)는 토양과 증류수를 1:5 비율로 하여 pH meter (S20, METTLER TOLEDO, Switzerland) 및 EC meter (S30, METTLER TOLEDO, Switzerland)로, 전질소는 Kjeldahl법, 유기물은 Tyurin법을 사용하여 각각 측정하였으며, 치환성 양이온은 Ion-Chromatography (761 Compact IC, Metrohm, Switzerland)로 측정하였다.

열무의 생육특성 조사는 파종후 16일에 처리구당 20주를 임의로 선정하여 엽장과 엽폭을 조사하였으며, 수확직후인 6월 18일에 초장, 엽장, 엽폭, 근장, 그리고 건물중(전체, 지상부, 지하부)을 조사하였다. 건물중은 dry oven (WFO-700, EYELA, Japan)에서 80℃로 24시간 건조 후 평량하여 평균치로 하였다.

수집된 자료의 정리와 통계는 MS-EXCEL 2010과 SAS (version 8.0)를 이용하였으며, 처리평균간 비교는 DUNCAN 다중검정을 하여 유의확률 $p < 0.05$인 경우 통계적으로 유의하다고 인정하였다.

결과 및 고찰

유황벤토나이트 시비량 차이에 따른 토양화학성 변화

유황벤토나이트 혼합비료의 시비량 차이에 따라 열무 수확 후에 채취한 토양의 화학적 특성은 Table 2와 같다. 토양 pH는 무처리구에서 6.13으로 시험전 토양의 5.94와 비교하여 약간 높아진 경향을 보였는데, 이는 기비로 시비한 3요소와 퇴비에 의한 것으로 생각된다. 유황벤토나이트 혼합비료의 시비량에 따라서는 3 kg/1000 ㎡ 처리구(이하 "SB3")에서 5.85, 6 kg/1000 ㎡ 처리구(이하 "SB6")에서는 5.61로 점차 조금씩 낮아지는 경향을 보였는데, 표토에서 유황의 산화율은 유황벤토나이트 시비시 유황의 단용 시비보다 더 적게 나타나기 때문(Chapman, 1990;

Table 1. Chemical properties and particle distribution of the soil

Chemical properties								Particle distribution		
pH (1:5)	T-N (㎎/㎏)	O.M (%)	Avail. P_2O_5 (㎎/㎏)	Ex. Cations ($cmol^+$/kg)				Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
				Ca	Mg	K	Na			
5.94	336	0.54	254	8.88	1.05	0.16	0.12	72.5	17.5	10.0

Table 2. Chemical properties of the soil after harvest of young radish (*Raphanus sativus* L.)

Treatment[z]	pH (1:5)	T-N (㎎/㎏)	O.M (%)	Avail. P_2O_5 (㎎/㎏)	Ex. Cations ($cmol^+$/kg)			
					Ca	Mg	K	Na
Control	6.13	644	0.84	125	9.11	1.24	0.16	0.07
SB3	5.85	630	1.29	180	10.35	1.23	0.15	0.08
SB6	5.61	700	1.00	289	5.53	1.37	0.20	0.07

[z]Control : NPK+compost, SB3: apply sulphur-bentonite fertilizer 3 ㎏ per 1,000 ㎡, SB6: apply sulphur-bentonite fertilizer 6 ㎏ per 1,000 ㎡.

Janzen and Karamanos, 1991; Karamanos and Janzen, 1991)으로 토양에 첨가된 유황의 산화가 느려 토양을 서서히 산성화시키지만 산화속도가 느리며 토양의 완충능에 따라 H_2S_2를 처리한 것과 같이 pH가 극도로 저하되지 않기 때문(Boswell and Friesen, 1993; Park *et al.*, 2000)이다.

토양의 전질소(T-N)함량은 모든 처리구에서 630~700 ㎎/㎏으로 시험전의 336 ㎎/㎏보다 높았으며, 유기물 함량도 0.84~1.29%로 시험전의 0.54% 보다 크게 증가하였다. 무처리구에서 전질소와 유기물 함량이 증가한 것은 열무의 짧은 생육기간(25일)으로 기비로 시용한 3요소와 퇴비의 영향으로 판단되며, 또한 유황벤토나이트 혼합비료 처리구(SB3과 SB6 처리구)에서는 토양내 유황이 첨가됨에 따라 낮아지는 pH에 의해 질산화작용(Nitrification)이 억제된다는 보고(Wainwright *et al.*, 1986) 및 유황의 산화율은 토양내 미생물상의 크기나 활성과 정의 관계(r = 0.68, P 〈 0.01)에 있다는 보고(Lawrence and Germida, 1988)와 관련된 것으로 판단된다.

열무 수확 후, 토양중 유효인산의 함량은 무처리구 및 SB3 처리구에서 각각 125 ㎎/㎏과 180 ㎎/㎏으로 시험전 254 ㎎/㎏에 비하여 51%와 71% 수준으로 낮아졌으나, SB6 처리구에서는 289 ㎎/㎏으로 약 14%가 증가되었다. 유황처리에 따른 토양 pH의 저하에 따라 가수산화물로부터 철이나 알루미늄이 용해되어 인산과 반응하여 인산철 또는 인산알루미늄이 불용성화합물이 되어 유효태인산의 함량이 감소(Park *et al.*, 2000)된다. 그러나 Park *et al.* (2000)은 벤토나이트에 의하여 점토광물의 흡착에 의한 Al^{3+}, Cu^{2+}와 같은 중금속의 흡착능이 Al 〉 Cu 〉 Pb 〉 Zn 〉 Mn순으로 나타났다고 보고한 바, 본 시험에 사용한 유황벤토나이트 혼합비료의 벤토나이트가 토양중 알루미늄 등의 중금속을 흡착함으로써 토양중 유효인산의 함량은 시비량이 증가할수록 높아진 것으로 판단된다.

치환성양이온 중 Ca 함량은 SB3 처리구에서 10.35 $cmol^+$/㎏으로 시험전 8.88 $cmol^+$/㎏보다 증가된 반면, SB6 처리구에서는 5.53 $cmol^+$/㎏으로 크게 낮아졌다. Mg 함량은 모든 처리구에서 시험전 토양에 비해 17%에서 30% 정도까지 증가하였으며, K 함량은 처리구별로 큰 차이를 보이지 않았다. Na은 모든 처리구에서 시험전 토양에 비하여 낮아졌으나 처리구별 차이는 없었다.

유황벤토나이트 시비량 차이에 따른 열무의 생육 특성 차이

유황벤토나이트 혼합비료의 시비량을 달리한 열무의 생육조사 결과는 Table 3과 Table 4와 같다. 열무 파종 후 16일에 유황벤토나이트 혼합비료의 시비량에 따라 열무의 엽장은 153.45~154.48 ㎜, 엽폭은 63.20~64.1 ㎜로 무처리구의 146.11 ㎜ 및 59.53 ㎜와 각각 유의한 차이를 보였다(Table 3). 시비량의 차이

Table 3. Effect of Sulphur-Bentonite application rate on the leaf-length and -width of young radish (*Raphanus sativus* L.) in middle of growth (16 days after seeding)

Treatment[z]	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)
Control	146.11 b[y]	59.53 b
SB3	154.48 a	64.10 a
SB6	153.45 ab	63.20 a

[z]Control : NPK + compost, SB3: apply sulphur-bentonite fertilizer 3 ㎏ per 1,000 ㎡, SB6: apply sulphur-bentonite fertilizer 6 ㎏ per 1,000 ㎡.
[y]Means within columns followed by the same letter do not differ significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 4. Effect of Sulphur-Bentonite application rate on the plant growth of young radish (*Raphanus sativus* L.) after harvest (23 days after seeding)

Treatment[z]	Plant height (㎜)	Root length (㎜)	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)
Control	344.21 b[y]	135.04 b	209.17 b	80.47 b
SB3	360.18 a	140.05 ab	220.13 a	87.88 a
SB6	357.47 ab	145.28 a	212.18 b	86.20 ab

[z]Control : NPK + compost, SB3: apply sulphur-bentonite fertilizer 3 ㎏ per 1,000 ㎡, SB6: apply sulphur-bentonite fertilizer 6 ㎏ per 1,000 ㎡.
[y]Means within columns followed by the same letter do not differ significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 5. Effect of Sulphur-Bentonite application rate on the dry weight of young radish (*Raphanus sativus* L.) after harvest (23 days after seeding)

Treatment[z]	Dry weight (g)		
	Total	Leaf	Root
Control	3.28 b[y]	2.39 b	0.89 b
SB3	3.90 a	2.93 a	0.97 b
SB6	3.95 a	2.84 a	1.11 a

[z]Control : NPK+compost, SB3: apply sulphur-bentonite fertilizer 3 ㎏ per 1,000 ㎡, SB6: apply sulphur-bentonite fertilizer 6 ㎏ per 1,000 ㎡.

[y]Means within columns followed by the same letter do not differ significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

에 대해서는 SB3 처리구가 SB6 처리구보다 약간 큰 경향을 보였으나 통계적 유의차는 없었다. 유황벤토나이트 혼합비료의 시비량에 따라 열무의 수확 후 생육특성을 비교해 보면(Table 4), 초장은 SB3 처리구가 360.18 ㎜로 가장 컸으나 SB6 처리구와 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았고, 근장은 SB6 처리구가 145.28 ㎜로 가장 큰 것으로 조사되었으나 이 역시 유의한 차이는 없었다. 열무의 엽장은 SB3 처리구에서 각각 220.13 ㎜로 가장 컸으며, 엽폭은 SB3 처리구가 87.88 ㎜로 가장 컸으나 SB6 처리구와의 유의한 차이는 없었다.

유황벤토나이트 비료의 시비에 따른 열무의 수확 후 건물중의 차이는 Table 5와 같다. 지상부인 잎의 건물중은 SB3 처리구가 2.93 g으로 가장 높았으나 SB6 처리구의 2.84 g과는 유의한 차이를 나타내지 않았고, 지하부인 뿌리의 건물중은 SB6 처리구가 1.11 g으로 가장 높았다. 전체적으로 열무의 건물중에서는 SB3 처리구와 SB6 처리구가 각각 3.90 g 및 3.95 g으로 무처리구의 3.28 g과 유의한 수준의 차이를 나타내었다.

Kim *et al.* (2004)은 유황농도가 909 g/㎡까지는 열무생산량이 증가한다고 보고하였고, 또한 본 시험에서 시험토양의 화학성이 향상된 결과에 따라, 유황벤토나이트 혼합비료를 1000 ㎡당 6 ㎏까지 시용할 경우 열무의 생육 향상 및 생산량 증가에 효과적이라고 할 수 있다.

적 요

유황과 벤토나이트의 특성을 고려하여 적정 비율로 혼합한 유황벤토나이트 혼합비료를 기비로 1000 ㎡당 3 ㎏과 6 ㎏, 그리고 무처리로 구분하여 시비하고 열무를 재배하여 토양의 화학성 변화와 작물생육의 효과를 시험하였다. 그 결과 토양의 pH는 시비량이 증가할수록 약간씩 낮아지는 경향을 보였으나 큰 하락을 나타내지 않았다. 토양내 전질소 함량은 6 ㎏/1000 ㎡ 처리구에서 700 ㎎/㎏으로 가장 높았으며, 유기물 함량은 3 ㎏/1000 ㎡ 처리구에서 1.29%로 가장 높았다. 토양중 유효인산의 함량은 시비량의 증가에 따라 높아져 6 ㎏/1000 ㎡ 처리구에서 289 ㎎/㎏으로 조사되었다. 열무의 지상부는 3 ㎏/1000 ㎡ 처리구, 지하부는 6 ㎏/1000 ㎡ 처리구에서 더 크게 생장하였다. 따라서, 유황벤토나이트 혼합비료의 시비시 토양 화학성 및 작물생육 증진에 효과가 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 (주)F&B Nature의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

References

Boswell, C.C., B. Swanney and W.R. Owers. 1988. Sulfur/sodium bentonite prills as sulfur fertilizers. 2. Effect of sulfur-sodium bentonite ratios on the availability of sulfur to pasture plants in the field. Fert. Res. 15:33-46.

Boswell, C.C. and D.K. Friesen. 1993. Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. Fert. Res. 35:127-149.

Chapman, S.J. 1990. Thiobacillus populations in some agricultural soils. Soil Biol. Biochem. 22:479-482.

Feilinger, H., A.C. Caldwell and E.C. Seim. 1972. The performance of granular sulfur fertilizers. Plant Soil 36:315-323.

Germida, J.J. and H.H. Janzen. 1993. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. Fert. Res. 35:101-114.

Janzen, H.H. and R.E. Karamanos. 1991. Short-term and residual contribution of selected elemental S fertilizers to the S fertility of two Luvisolic soils. Can. J. Soil Sci. 71:203-211.

Kang, H., S.M. Park, Y.D. Jang and J.J. Kim. 2008. Studies on adsorption of heavy metals with zeolite and bentonite. J. Miner. Soc. Korea (1):45-56 (in Korean).

Karamanos, R.E. and H.H. Janzen. 199l. Crop response to elemental sulfur fertilizers in central Alberta. Can. J. Soil Sci. 71:213-225.

Kim, J.G., S.H. Lee, C.H. Lee, N.J. Lee, Y.S. Son, and S.K. Lim. 1999. Field treatment of cow manure originated from the clay mineral feeding and the change of nitrogen in soils. Korean J. Environ. Agric. 18(4):366-371 (in Korean).

Kim, K.A, C.W. Rho, K.R. Choi, H.J. Hwang and H.S. Choi. 2004. Quinone reductase indicer from radish leaf cultivated in the soil containing sulfur. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33(6):946-950 (in Korean).

Lawrence, J.R. and J.J. Germida. 1988. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52:672-677.

Lee, J.S, P.G Jung and D.U Choi. 1977. A study on the characteristics of bentonite produced in Korea. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 10:69-74 (in Korean).

Moon, J.H., C.H. Choi, B.R. Ryu and C.G. Kim. 2005. Adsorption of anion species on clay minerals. Environ. Sci. Technol. 27(10):1058-1064 (in Korean).

Moon, J.H., T.J. Kim, C.H. Choi and C.G. Kim. 2006. Adsorption characteristics of heavy metals on clay minerals. Environ. Sci. Technol. 28(7):704-712 (in Korean).

Morris, R.J. 1988. Sulphur-The fourth major plant nutrient. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. International Symposium No.1. pp. 9-16.

NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea (in Korean).

Nuttall, W.F., C.C. Boswell and B. Swanney. 1990. Influence of sulphur fertilizer placement, soil moisture and temperature on yield response of rape to sulphur-bentonite. Fert. Res. 25:107-114.

Oh, W.K. 1988. Plant response to sulphur application, J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. International Symposium No.1. pp. 120-131 (in Korean).

Park, J.H., K.J. Kim, S.D. Park, M. Park, D.H. Lee, C.L. Choi and J. Choi. 2000. Effects of sulfur on the chemical properties of soil and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Korean J. Medicinal Crop Sci. 8(4):378-385 (in Korean).

Riley, N.G., F.J. Zhao and S.P. McGrath. 2000. Availability of different forms of sulphur fertilisers to wheat and oilseed rape. Plant Soil 222:139-147.

Ryu, K.S. and B.S. Han. 1988. Misconceptions concerning sulphur-containing fertilizers. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. International Symposium No. 1. pp. 139-145 (in Korean).

Wainwright M., W. Nevell and S.J. Grayston. 1986. Effects of organic matter on sulphur oxidation in soil and influence of sulphur oxidation on soil nitrification. Plant Soil 96:369-376.

Yoon, J.H., B.K. Jung, Y.H. Lim and J.S. Shin. 2000. Sulphur content of Korean soils. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. Soil and Fertilizer 1:80-83 (in Korean).

(Received 26 March 2014 ; Revised 12 May 2014 ; Accepted 19 May 2014)