

온실토양에서 수용성염의 쌓임과 자화수에 의한 씻김효과

리 선 득

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《남새를 잘 가꾸어 주민들에게 신선한 남새를 사철 떨구지 말고 공급하도록 하여야 하겠습니다.》(《김일성전집》 제38권 210페이지)

자연강수가 차단된 닫힌계인 온실토양에서는 많은 량의 비료시비와 증발형물기동태로 인하여 토양겉면에 수용성염들이 쌓이면서 염화된다.[3, 4] 토양의 수용성염이 지나치게 쌓이면 농작물의 생육과 소출에 부정적인 영향을 준다.[1] 그러므로 남새온실에서 남새생산을 지속적으로 늘이자면 온실토양의 염화를 막기 위한 적극적인 대책을 세워야 한다.

물을 자화처리하면 물의 회합도가 작아지면서 물리화학적특성이 변하기때문에 자화수를 여러가지 목적에 리용하고있다.[2]

논문에서는 오랜 기간 리용한 남새온실토양의 수용성염조성과 자화수에 의한 수용성염세척효과에 대하여 논의하였다.

재료와 방법

연구대상토양은 40년이상 리용한 평양온실농장의 하성층적지모래메흙질토양이다. 토양시료는 온실바깥과 온실안에서 같이층과 자름면깊이별로 채취하였다.

토양의 수용성염농도분석은 토양을 증류수로 침출한 용액에서 NO_3^- 은 페놀디술폰산비색법으로, H_2PO_4^- 은 몰리브덴청비색법으로, Cl^- 은 질산은적정법으로, SO_4^{2-} 은 크롬산비색법으로, HCO_3^- 은 류산적정법으로, Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 은 착염적정법으로, K^+ 과 Na^+ 은 불길광도법으로 측정하는 방식과 전기전도도를 측정하는 방식으로 진행하였다.

자화수는 자기마당세기가 각이한 영구자석안으로 물을 각이한 속도로 통과시키는 방법으로 만들었다. 자화수에 의한 토양의 수용성염세척은 담수 및 스팀세척법으로 진행하였다.

결과 및 논의

1) 온실토양같이층에서 수용성염쌓임

온실토양같이층의 수용성염총량은 온실구획에 따라서 차이가 있는데 208.5~430.3mg/L(평균 335.2mg/L)로서 온실바깥토양에 비하여 3.1배나 많았다.(표 1)

수용성염총량에 기초한 염화토양구분에 의하면 이 온실토양은 약염화토양에 속한다. 리용기간이 오래지만 온실토양의 염화정도가 약한것은 토양교체와 토

표 1. 온실토양같이층의 수용성염총량

시료채취 장소	수용성염총량 /(mg·L ⁻¹)	양이온총량 /(mg·L ⁻¹)	음이온총량 /(mg·L ⁻¹)
온실바깥	108.6±12.1	30.0±6.4	78.6±7.0
온실 1	430.3±20.3	110.5±9.8	319.8±13.4
온실 2	208.5±15.8	51.1±5.3	157.4±12.1
온실 3	319.5±15.1	80.9±6.7	238.6±12.2
온실 4	382.5±18.5	89.3±9.3	293.2±14.5

년평균시비량: 유기질비료 321t/정, 질소비료 5.6t/정, 린비료 3.9t/정, 카리비료 2.0t/정

양물세척, 염제거작물재배 등 일련의 염제거대책을 세운것과 관련된다.

온실토양갈이층에서 수용성염중 음이온함량은 157.4~319.8mg/L(평균 252.3mg/L)로서 온실바깥토양에 비하여 3.2배로 증가하였으며 양이온함량은 51.1~110.5mg/L(평균 83.0mg/L)로서 온실바깥토양에 비하여 2.8배 증가하였다.

온실토양갈이층에서 수용성염중 음이온조성을 보면(표 2) $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^-$ 로서 온실바깥토양($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{H}_2\text{PO}_4^-$)과 차이난다. 그것은 온실토양갈이층에서 수용성음이온들의 함량이 온실바깥토양에 비하여 NO_3^- 은 평균 57.1mg/L로서 8.2배, H_2PO_4^- 은 평균 11.0mg/L로서 5.5배, SO_4^{2-} 은 평균 83.3mg/L로서 3.3배, Cl^- 은 평균 39.9mg/L로서 2.9배, HCO_3^- 은 평균 61.0mg/L로서 2배로 증가하기때문이다.

표 2. 온실토양수용성염중 음이온조성

시료채취 장소	음이온함량/(mg·L ⁻¹)					음이온조성(음이온총량에 대한 %)				
	NO_3^-	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
온실바깥	7.0	2.0	13.0	25.6	30.3	8.9	2.5	17.4	32.6	38.5
온실 1	90.2	8.3	49.0	99.1	73.2	28.2	2.6	15.3	31.0	22.9
온실 2	30.6	9.1	22.6	44.3	50.8	19.4	5.8	14.4	28.1	32.3
온실 3	38.2	12.9	45.9	88.8	52.8	16.0	5.4	19.2	37.2	22.1
온실 4	69.4	13.8	42.0	101.0	67.0	23.7	4.7	14.3	34.4	22.9

비료시비조건은 표 1에서와 같음

온실토양갈이층에서 수용성음이온함량의 증가는 우선 화학비료를 많은 량 시비하는 것과 관련된다. 화학비료의 암모니움이온과 유기질비료의 분해때 나오는 암모니아는 온실토양에서 쉽게 산화되어 질산이온으로 넘어가기때문에 질산이온함량이 현저히 증가하며 온실에서 류산염형태의 비료를 많이 리용하는것과 관련하여 류산이온함량이 증가한다.

온실토양갈이층에서 수용성음이온함량의 증가는 또한 영양원소바란스와 관련된다. 온실토양에서는 증발형물기동태로 인하여 영양원소가 물에 의하여 씻겨나가지 않고 토양겉면에 집적되며 관개수에 음이온들이 포함되어있기때문에 토양에 많은 량 반입된다.(표 3)

표 3. 관개수에서 음이온함량

음이온종류	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
음이온함량/(mg·L ⁻¹)	213	70	24	13.3

온실토양갈이층에서 수용성염중 양이온조성을 보면(표 4) 온실바깥토양의 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 형으로부터 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 형으로 변하였다. 그것은 비료시비, 관수와 관련하여 온실바깥토양에 비하여 온실토양갈이층에

표 4. 온실토양수용성염중 양이온조성

시료채취 장소	양이온함량/(mg·L ⁻¹)				양이온조성(양이온총량에 대한 %)			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
온실바깥	19.4	6.0	3.8	0.8	64.7	20.0	12.7	2.7
온실 1	72.0	23.4	6.6	8.5	65.2	21.2	6.0	7.7
온실 2	33.0	13.2	1.9	3.0	64.6	25.8	3.7	5.9
온실 3	40.5	20.4	12.7	7.3	50.1	25.2	15.7	9.0
온실 4	51.0	23.4	7.3	7.6	57.1	26.2	8.2	8.5

비료시비조건은 표 1에서와 같음

서 Ca^{2+} 함량은 평균 49.1mg/L로서 2.5배, Mg^{2+} 함량은 평균 20.1mg/L로서 3.4배, K^{+} 함량은 평균 7.1mg/L로서 1.9배 증가하지만 Na^{+} 함량은 평균 6.6mg/L로서 8.3배 증가하기 때문이다.

이와 같이 온실토양같이층에서는 수용성염류가 쌓이면서 양이온과 음이온조성에서 Na^{+} 과 Mg^{2+} , SO_4^{2-} 과 NO_3^{-} 의 함량비율이 현저히 높아진다.

2) 온실토양자름면에서 수용성염분포

토양자름면에서 수용성염분포를 보면 온실바깥에서는 10~30cm 깊이에서 수용성염함량이 최대로 나타나는데 온실안에서는 0~10cm 특히 맨 겉층에서 최대로 나타난다.(그림 1)

그림 1에서 보는바와 같이 깊이에 따르는 수용성염함량변화의 비약은 온실바깥토양자름면에서 30cm근방에서 일어나지만 온실토양자름면에서는 겉층과 30cm근방에서 일어난다. 이것은 온실에서의 증발형물기동태로 인하여 수용성염들이 지하수위까지 물에 씻겨내려가지 못하고 같이층 특히 겉면에 쌓인다는것을 말해준다.

온실토양자름면에서 수용성양이온과 수용성음이온의 총량분포는 수용성염분포와 같은 형태로 나타나지만(그림 2와 3) 그 종류별분포는 독특한 특성을 나타낸다.(표 5, 6)

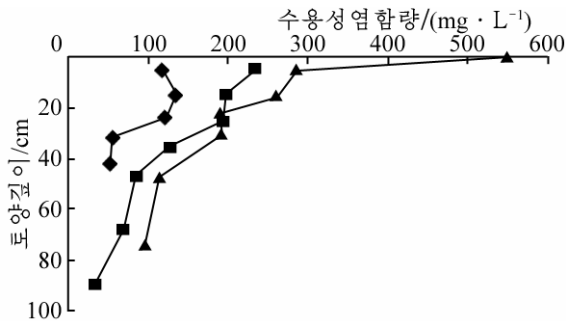


그림 1. 온실토양자름면에서 수용성염분포
◆ 온실바깥토양, ■ 온실토양 1, ▲ 온실토양 2

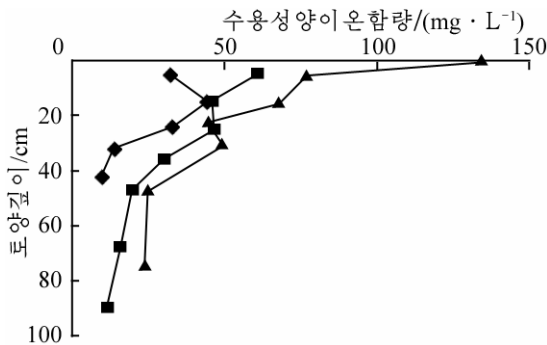


그림 2. 온실토양자름면에서 수용성양이온분포
◆ 온실바깥토양, ■ 온실토양 1, ▲ 온실토양 2

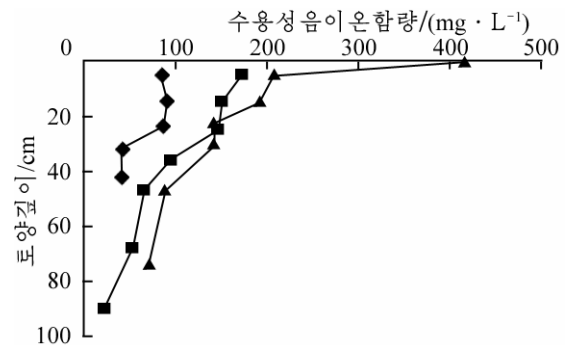


그림 3. 온실토양자름면에서 수용성음이온분포
◆ 온실바깥토양, ■ 온실토양 1, ▲ 온실토양 2

표 5에서 보는바와 같이 온실바깥토양자름면에서 Ca^{2+} 과 K^{+} 은 28cm 깊이까지 비교적 균일하게 분포되다가 그 이상의 깊이에서 급격히 감소하지만 Mg^{2+} 은 20cm 깊이까지 균일하게 분포되다가 그 이상의 깊이에서 급격히 감소한다. 그러나 온실토양자름면에서는 Ca^{2+} , K^{+} , Na^{+} 들이 겉면에 집중되고 대체로 30cm 깊이까지 균일하게 분포되다가 급격히 감소한다. Mg^{2+} 은 자름면깊이가 깊어지는데 따라 비교적 점차적으로 감소한다.

표 6에서 보는바와 같이 음이온의 경우에는 온실바깥토양자름면에서 SO_4^{2-} 과 HCO_3^{-} 이 30cm 깊이까지 비교적 균일하게 분포되다가 급격히 감소하지만 기타 음이온들은 자름면깊이가 깊어지는데 따라 점차적으로 감소한다. 그러나 온실토양자름면에서는 NO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} 들이 겉면에 집중되고 대체로 30cm 깊이까지 균일하게 분포되다가 그 이상의

표 5. 토양자름면깊이별 수용성 양이온 함량(mg/L)

시료채취 장소	깊이/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	시료채취 장소	깊이/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
온실바깥	0~10	24.0	7.2	0.4	—	온실 1	52~84	7.2	4.7	1.8	2.1
	10~20	29.5	8.7	0.9	—		84~96	5.4	2.2	2.1	1.6
	20~28	30.6	1.5	0.6	0.2		0	61.2	24.5	34.7	13.7
	28~36	12.0	1.8	—	—		0~10	39.6	24.8	6.6	5.9
	36~57	8.4	0.7	—	—		10~19	36.6	20.9	4.8	5.3
온실 1	0~10	39.0	16.2	1.7	3.8	온실 2	19~25	24.6	11.2	4.7	4.3
	10~20	30.0	10.9	2.6	2.6		25~35	23.4	14.7	5.6	5.6
	20~30	30.0	12.7	1.3	2.6		35~59	12.0	7.2	4.3	1.2
	30~42	18.0	9.8	0.9	1.7		59~90	18.2	4.7	—	0.9
	42~52	9.0	5.4	2.5	3.1						

표 6. 토양자름면깊이별 수용성 음이온 함량(mg/L)

시료채취 장소	깊이 /cm	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	시료채취 장소	깊이 /cm	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
온실바깥	0~10	11.8	4.0	9.0	24.0	36.6	온실 1	52~84	6.6	1.1	8.4	15.7	22.0
	10~20	5.2	3.2	7.0	40.3	35.4		84~96	2.7	0.2	3.5	4.8	10.4
	20~28	4.8	2.8	5.6	38.3	36.6		0	88.5	13.4	91.0	151.2	67.0
	28~36	2.5	3.4	4.2	6.0	25.6		0~10	22.9	10.4	35.0	82.1	57.4
	36~57	1.2	1.4	3.4	14.4	21.2		10~19	27.0	13.7	29.4	71.2	50.0
온실 1	0~10	37.6	8.7	24.4	41.8	61.0	온실 2	19~25	14.3	13.9	28.0	50.6	36.6
	10~20	26.7	9.6	22.4	44.4	48.8		25~35	10.9	14.1	28.0	49.3	40.2
	20~30	27.6	9.2	21.0	46.7	42.6		35~59	7.4	9.8	15.4	32.0	24.4
	30~42	11.7	9.0	9.0	29.7	36.6		59~90	3.1	6.8	14.0	25.2	22.0
	42~52	6.6	6.3	9.8	18.6	25.6							

깊이에서 급격히 감소하며 H₂PO₄⁻은 40cm 깊이까지 균일하게 분포되다가 급격히 감소한다.

온실 토양자름면에서 수용성 이온들의 종류에 따라 분포특성이 차이나는 것은 비료시비와 물기동태, 토양에서 비료성분의 변화와 이동성과 관련된다고 본다.

3) 온실 토양에서 자화수의 수용성 염 세척 효과

자화수는 이온들의 수화도와 염의 용해도를 변화시켜 온실 토양에서 수용성 염 세척을 촉진시킨다.

온실 토양에서 자화수의 염 세척 효과는 여러 가지 조건의 영향을 받는다.

세기가 1 000Oe인 자기마당속을 통과하는 물의 속도가 0.7m/s일 때 자화수의 온실 토양 수용성 염 세척 효과가 제일 높았다.(그림 4)

그림 4에서 보는바와 같이 세기가 1 000Oe인 자기마당속을 통과하는 물의 속도가 0.3, 0.5m/s일 때보다 0.7m/s일 때 자화 세척 효과 결수가 비약적으로 커지는데 물의 자기마당 통과 속도가 느릴 때에는 통과 회수를 5회 이상으로 늘일 때 자화 세척 효과 결수가 비약적으로 커진다.(그림 5)

자화수의 온실 토양 염 세척 효과는 물을 자화시키는 자기마당의 세기와 토양 세척 방법에 따

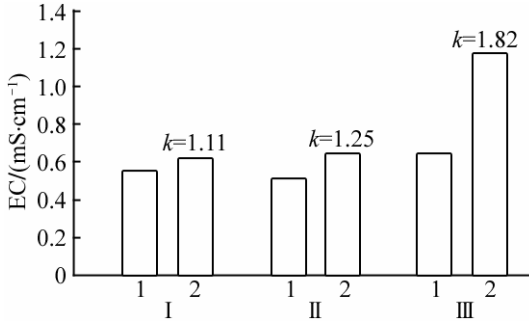


그림 4. 자기마당속을 통과하는 물흐름속도에 따르는 자화수의 온실토양염세척효과

I—III은 물흐름속도가 각각 0.3, 0.5, 0.7m/s인 경우;
1—대조, 2—실험; 자기마당세기 1 000Oe

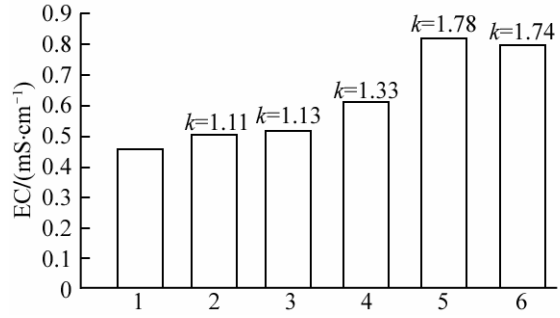


그림 5. 물을 0.3m/s의 속도로 자기마당속을 통과시키는 회수에 따르는 자화수의 온실토양염세척효과

1은 대조, 2—6은 통과회수가 각각 1, 3, 4, 5, 6인 경우; 자기마당세기 1 000Oe

라서도 달라진다.(표 7)

표 7. 물자화세기와 토양세척방법에 따르는 자화수의 온실토양염세척효과

자기마당의 세기/Oe	담수우림법						스밋씻김법	
	5h		10h		24h			
	EC/(mS·cm⁻¹)	k	EC/(mS·cm⁻¹)	k	EC/(mS·cm⁻¹)	k	EC/(mS·cm⁻¹)	k
0(대조)	0.49	—	0.56	—	0.65	—	1.81	—
1 000	0.68	1.39	0.79	1.41	0.90	1.38	2.59	1.43
1 500	—	—	—	—	—	—	2.90	1.60
2 800	0.65	1.33	0.73	1.30	0.81	1.25	—	—

표 7에서 보는바와 같이 물을 자화시키는 자기마당의 세기를 1 500Oe로 할 때 자화세척효과결수가 제일 커지고 온실토양을 담수우림법으로 세척할 때보다 스밋씻김법으로 세척할 때 수용성염을 보다 효과적으로 제거할수 있다.

이와 같이 온실토양의 수용성염을 제거하기 위하여서는 세기가 1 500Oe인 자기마당속을 0.7m/s의 속도로 통과시킨 자화수로 스밋세척하는것이 가장 효과적이다.

맺 는 말

- 1) 온실토양은 약염화토양이며 수용성염은 0~30cm층 특히 겉면에 집중적으로 쌓인다.
- 2) 세기가 1 500Oe인 자기마당속을 0.7m/s의 속도로 통과시킨 자화수로 스밋세척할 때 온실토양의 수용성염세척효과가 가장 크게 나타난다.

참 고 문 헌

- [1] 리원호 등; 농업과학기술, 8, 31, 주체104(2015).
- [2] J. M. D. Coey; Journal of Magnetism Andmagnetic Materials, 209, 71, 2000.
- [3] Taha Gorji et al.; Precedia Earth and Planetary Science, 15, 507, 2015.
- [4] 相馬暁; 農業および園芸, 60, 11, 1415, 1985.

Accumulation of Aqueous Salts and Their Leaching by Magnetic Water in Greenhouse Soil

Ri Son Duk

Greenhouse soil is slightly saline and aqueous salts are intensively accumulated in 0~30cm layer, especially in the surface layer.

Leaching effect of aqueous salts in greenhouse soil by magnetic water is the largest when soil is vertically leached by water magnetized at 0.7m/s of rate through magnetic field of 1 500Oe of intensity.

Key words: greenhouse soil, aqueous salt, magnetic water