

퇴비발효온실의 환경조건이 토마토의 생육에 미치는 영향¹⁾

양원모 · 홍지형* · 박금주* · 손보균**

순천대학교 농과대학 원예학과 · *농업기계공학과 · **농화학과

Environmental Effects on the Growth and Development of Tomato in Composting Greenhouse

W.M.Yang · J.H.Hong · K.J.Park · B.K.Shon
College of Agriculture, Suncheon National University

Abstract

The environment in composting greenhouse is very different with the traditional greenhouse by biothermal energy and CO₂ concentration. This experiment aimed to investigate the environmental effects on the growth and development of tomato grown at composting greenhouse.

The room temperature is not different between two greenhouses because of heating and ventilation, but the soil temperature in composting greenhouse is about 7°C to 15°C higher than that of traditional greenhouse.

The emission concentration of ammonia gas is the highest, 117.3ppm, at the 6th day starting the digest, and were gradually lowered from 7th day, it became 15.7ppm at the 16th day.

The concentration of CO₂ in composting greenhouse were 250 to 2000ppm higher than that of traditional greenhouse for 4 months starting digest.

The growth and development of tomato grown at composting greenhouse was better than that of traditional greenhouse. The yield in composting greenhouse was also better than that of traditional greenhouse. The sugar contents of tomato grown at composting greenhouse became about 1 °Brix higher than that of traditional greenhouse.

키 워 드 : 퇴비발효온실, 발효열, 암모니아가스, 탄산가스, 축산폐기물, 토마토
Key word : composting greenhouse, biothermal energy, ammonia gas, carbon dioxide, livestock waste, tomato

서 론

중에 발생하는 발효열이나 탄산가스로 인하여 관행온실과는 큰 차이가 있다.

퇴비발효온실의 재배환경은 퇴비발효 과정

동계 시설원예재배에서는 난방을 위하여 가

¹⁾ 이 연구는 1995년도 농림수산부 현장에로기술개발사업 연구비로 수행되었음.

온을 하지 않으면 안되는데 일반적으로 난방비는 경영비의 약 30%정도를 차지하므로 연료비의 절감은 생산단가를 낮추는데 대단히 중요하다. 그러므로 퇴비발효온실에서 퇴비화과정중에 발생하는 열을 이용하는 일은 연료비의 절감과 작물생육 측면에서 중요하며, 축산폐기물의 환경오염방지 측면에서도 그 필요성이 높다.

퇴비발효온실의 가스환경은 광합성작용에도 큰 영향을 준다. 시설내의 탄산가스 급원으로는 환기, 공기순환, 유기물 시용, 공업용제품, 가온기의 연소가스 등이 있으나 겨울철에는 온도가 낮아 환기에 의한 탄산가스 공급은 불가능하고 공업용제품이나 연소가스의 이용은 많은 경비가 소요되므로 적용하기가 쉽지 않다. 공기순환은 엽면경계층을 파괴하여 탄산가스 이용효율은 높이지는 하지만 소극적인 방법으로 생육촉진에는 한계가 있다. 유기물 시용은 이러한 측면에서 매우 중요한 탄산가스 급원으로 널리 활용되고 있는데 탄산가스 급원으로서 뿐만 아니라 토양의 입단구조를 개선하여 작물생육에 크게 기여한다.

이러한 장점에도 불구하고 퇴비발효 과정중에는 여러 가지 작물생육에 해로운 기체가 발생한다. 특히 암모니아 가스는 8~40ppm의 저농도에서 작물생육을 저해한다^{1,5)}. 그러므로 미숙퇴비를 밀폐된 온실내에서 이용하는 데에는 여러 가지 제약이 따른다. 유해가스는 식물세포의 대사과정을 교란하여 식물생육을 방해하므로 유기물 시용의 다양한 장점에도 불구하고 온실에서 발효열과 발효 탄산가스가 널리 이용되지 못하는 이유가 여기에 있다.

따라서 본 연구는 이러한 측면에 주의하면서 퇴비발효로 인한 온실의 환경변화가 토마토의 생육에 어떠한 영향을 미치는지 구명하고자 퇴비발효시설이 없는 동일면적의 관행온실을 설치하여 방울토마토와 일반토마토를 정식하고 두개의 온실간 환경의 변화를 추적하면서 토마토의 생장과 수량 및 과일의 품질을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 온실 및 퇴비발효 시설

실험용 온실은 동서동 턴널형 파이프 하우스로 길이 12.5m 폭 4.37m 면적 54.6m²였으며 내부에 2중 피복을 하였고 부직포는 설치하지 않았다. 난방은 2만 kcal/hr의 난방기를 이용하였으며 관수는 모터에 타이머를 설치하고 관행온실과 퇴비발효온실에 유량계를 설치하여 관수량을 조절하였다. 환기는 수동식으로 실내의 온도가 25℃를 넘을 경우 개폐하였다.

퇴비발효 시설은 그림 1에서와 같이 60×60cm²의 U자형 콘크리트 개거를 길이 8m가 되도록 설치하였으며 3반복으로 배치하였다. 작물은 발효조와 발효조 사이에 폭 70cm 크기의 이랑을 만들고 작토와 퇴비를 혼합 투입하여 재배하였다. 관행온실에는 U자형 콘크리트 개거 대신 두께 10cm의 스티로폼을 퇴비발효 시설과 동일하게 설치하여 비슷한 환경조건이 되도록 하였다. 퇴비 발효조에는 우분과 왕겨를 체적비 2:1로 혼합하여 투입하였으며 퇴비발효조 밑바닥에는 송풍파이프를 설치하여 간헐통기 하였고 퇴비발효조 상층부에는 점적 관수시설을 설치하여 적절한 수분상태가 유지되도록 하였다. 퇴비 발효조위에는 비닐턴넬과 환기팬을 별도로 설치하여 발효초기의 암모니아 가스를 하우스 밖으로 배출시킬수 있도록 하였으며 15일 후에 암모니아 가스농도가 약 25ppm 이하로 낮아진 후 철거하고 토마토를 정식하였다.

2. 온실환경계측

온실내외에 설치한 온습도(반도체회로식), 지중온도(PT100), 탄산가스(NDIR방식) 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하여 컴퓨터에 저장하였다.

온도와 습도는 각각 지상에서 높이 35cm, 150cm에서 측정하였으며 지중온도는 지하 30cm와 10cm에서 계측하였고 탄산가스는 지

상 35cm 높이에서 측정하였다. 각 센서의 계측은 1시간 간격으로 수습초간 계측된 100회분을 평균하였다.

암모니아의 계측은 실험용온실과는 별도로 1.5×1.5×1.5m 크기의 밀폐된 발효조를 만들고 1.4m 높이까지 퇴비를 넣어 퇴비발효온실과 같은 조건으로 발효를 시키면서 가스분석기(GASTEC, No800)에 검지관 No.3L을 부착 암모니아농도의 변화를 측정하였다.

3. 토마토의 육묘 및 정식

공시 토마토는 방울토마토(빠빠, 다키이종묘)와 일반토마토(하우스모모타로, 다키이종묘)의 2종류로 하였다. 각 토마토는 1995년 11월 20일 파종하여 펄라이트에 원시표준액으로 양액육묘하였으며 1월 26일 각각 25cm 간격으로 33주씩 정식하였다.

재배용토는 약 30cm 깊이로 작물이 재배되었던 작토층을 반입하고 창성유기질 비료를 360kg/10a 용량으로 투입하였다.

온실내의 온도는 4단변온시스템으로 6시부터 9시까지의 18℃, 9시부터 15시까지의 20℃, 15시부터 21시까지의 16℃, 21시부터 6시까지의 14℃가 되도록 난방기의 온도를 조절하였으며 주간에 실내온도가 25℃ 이상이 되면 환기를 하였다.

관수는 타이머를 이용하여 오전 10시에 작물의 성장과 토양수분상태에 따라 3~8분간 1일 1회 관수하였다. 관수량은 유량계를 이용하여 관행온실과 퇴비발효온실의 관수량을 조절하였으며 생육중·후기의 퇴비발효온실은 지중온도가 높고 생육이 빨라 토양이 쉽게 건조 하였으므로 토양수분상태에 따라 관수량을 늘려 주었다.

4. 생육조사

생육조사는 정식 20일후 부터 10일 간격으로 5회 및 최종 수확시인 5월 27일 각각 4~5주씩 실시하였다. 이때의 조사항목은 草長, 莖徑(基部위 3節位), 葉數, 葉生體重, 莖生體重, 根生體重, 主根長, 葉乾物重, 莖乾物重, 根乾物

重, 開花數, 着果數, 收穫果數, 果重이었다.

이와는 별도로 과일의 수량과 품질을 조사하기 위하여 관행온실과 퇴비발효온실에서 방울토마토와 일반토마토를 각각 5주씩 선정하였고 11花房에서 적심하였으며 정식 70일후인 4월 5일부터 10일 간격으로 5월 27일까지 수확과수, 과중, 당도 등을 각 花房별로 6회 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 퇴비발효온실의 환경변화

1) 온도

온도는 35cm와 150cm에서 퇴비발효온실과 관행온실간에 큰 차이가 없었다. 이것은 온실의 온도를 난방기에 의해 일정온도로 유지되도록 설정하였고 주간에는 25℃이상에서 환기를 하였기 때문이다.

2) 지온

지온의 경우는 그림 2와 같이 큰 차이를 나타내었다. 지중 10cm의 온도는 일변화가 8~13℃로 매우 컸으며 퇴비발효온실의 지온이 주간에는 약 7℃, 야간에는 약 10℃ 높았으며, 지중 30cm의 온도는 일변화가 거의 없었는데 퇴비발효온실의 지온이 관행온실의 지온보다 약 10~15℃나 높았으며 이러한 지온의 차이가 토마토의 생육에 큰 영향을 미쳤다.

3) 암모니아가스

퇴비발효과정 중의 암모니아가스 농도 변화를 추적하기 위하여 퇴비발효온실과는 별도로 1.5m×1.5m×1.5m크기의 밀폐된 발효조에 1.4m 높이까지 퇴비를 충전하고 발효조건을 퇴비발효온실과 동일하게 유지하면서 암모니아가스 검지관을 이용하여 매일 1회 3반복 계측한 결과는 그림 3과 같다.

발효시작후 2, 3, 4, 5, 및 6일째의 암모니아가스 휘산농도는 각각 5.4, 13.3, 114, 114.7 및 117.3ppm으로 상승하였다. 발효후 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 14일 째에는 각각 79.3, 41,

54.7, 10.7, 20, 82 및 27ppm으로 발효 7일째 부터 낮아져서 8일 이후에 현저히 감소하였다. 발효 16일째에는 15.7ppm으로 낮아졌으나 작물에 따라서는 8ppm 에서도 암모니아가스 장해를 받을 수 있으므로⁵⁾ 본 실험과 같은 조건으로 발효를 시키는 퇴비발효온실에서의 작물 정식은 발효시작 후 약 3주 이후가 되어야 할 것으로 판단되었다.

4) 탄산가스

퇴비발효온실내의 퇴비 발효조에 1월 13일 퇴비를 넣어 발효가 시작된 후 14일째인 1월

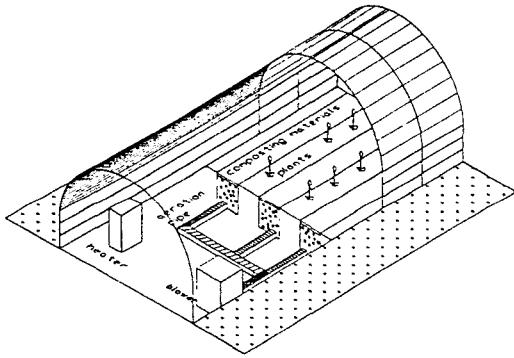


Fig. 1. The general layout of composting greenhouse.

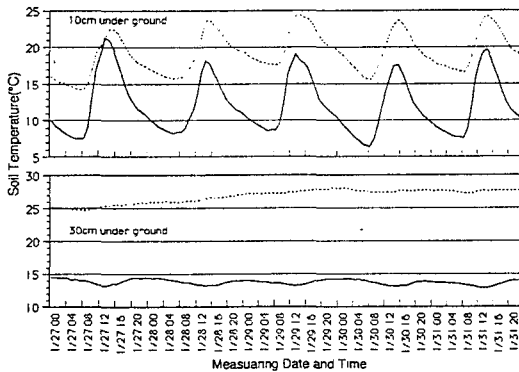


Fig. 2. The soil temperature measured at 10 or 30cm underground in traditional greenhouse(—) and composting greenhouse(....).

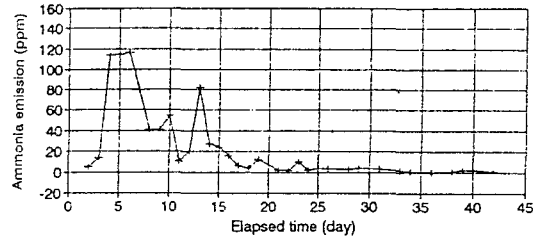


Fig. 3. Ammonia emission during composting process.

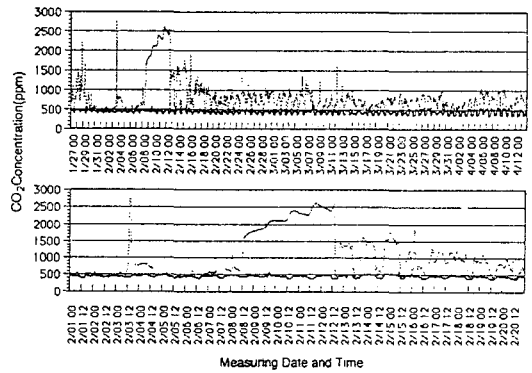


Fig. 4. The CO₂ concentration measured at 30cm above ground in traditional greenhouse(—) and composting greenhouse(....).

27일 부터의 탄산가스 농도 변화는 그림 4와 같다. 그림에서와 같이 관행온실내의 탄산가스 농도는 450ppm 내외인데 비해 퇴비발효온실내의 농도는 2500ppm 이상까지 높아지는 경우도 있다. 2월 1일부터 2월 7일 사이에 농도가 500ppm 내외로 낮아진 것은 환기에 의한 것으로 정식된 토마토의 암모니아 가스 장해를 방지하기 위하여 온도가 낮지 않을 경우 야간에도 환기를 하였기 때문이다. 그러나 2월 8일부터 11일 사이와 같이 환기를 하지 않을 경우 1500ppm에서 2500ppm까지 그 농도가 높아졌다.

퇴비발효가 시작된 약 2개월까지는 무환기

시 약 1000~1500ppm을 유지하였으며 2개월 이후부터 마지막 생육조사를 하였던 5월 27일(퇴비화 시작 130일 후)까지는 약 700~1000ppm이 유지되었다.

2. 퇴비발효온실의 생육 촉진효과

초장, 경경, 엽수, 주근장은 그림 5와 같다. 주근장을 제외하고는 전체적으로 관행온실보다 퇴비발효온실에서의 토마토 생육이 양호하였다. 특히 경경의 경우 정식 1개월 후부터 그 차이가 뚜렷하게 나타났으며 2개월 후에는 직경 약 1cm의 차이가 나타났다. 이러한 차이는 앞에서 언급한 바와 같이 퇴비발효온실의 온도와 지온 그리고 탄산가스 농도가 향상되었기 때문이라고 판단되었다. 주근장의 차이가 없었던 것은 뿌리의 굴취과정중 주근장이 쉽게 손상되어 정확한 계측이 어려웠기 때문이라 생각되었다.

잎, 줄기, 뿌리의 생체중 및 건물중도 그림 6과 같이 생육이 진전됨에 따라 퇴비발효온실에서 현저히 증가하였다. 특히 두 온실간 주근장의 차이가 없었음에도 불구하고 근의 생체중과 건물중이 큰 차이를 보이고 있는 것은 퇴비발효에 의한 지온의 상승이 측근의 생장에도 큰 영향을 미치고 있음을 시사한다.

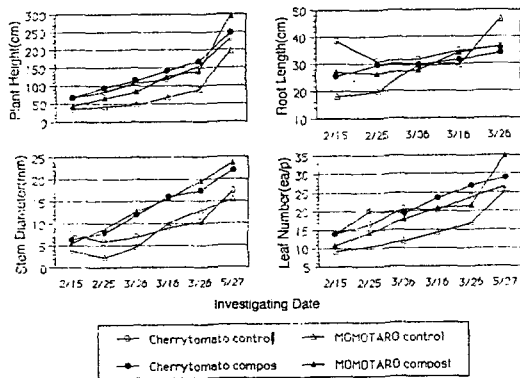


Fig. 5. Changes in plant height, stem diameter, leaf number and main root length in traditional greenhouse and composting greenhouse.

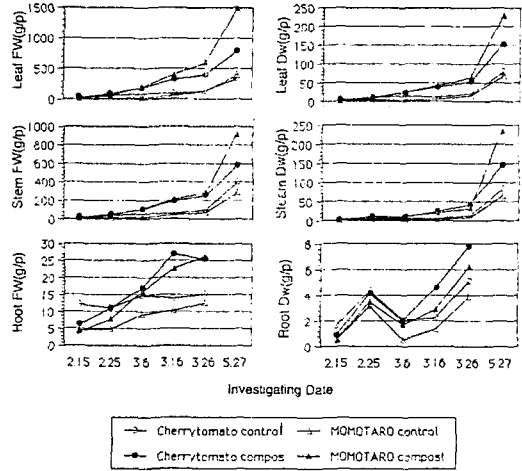


Fig. 6. Changes in fresh weight(FW) and dry weight(DW) of leaf, stem and root in traditional and composting greenhouse.

3. 과일 수량과 품질

표 1은 2월 15일 부터 3월 26일 까지의 방울토마토와 일반토마토의 개화수, 착과수, 수확과수, 과일생체중, 건물중을 나타낸 것으로서 방울토마토의 경우 개화수와 착과수는 퇴비발효온실에서 높은 경향이였으며 과일생체중은 3월 6일 외에는 거의 비슷하거나 낮았고 과일건물중도 3월 6일 외에는 낮게 나타났다. 그러나 일반토마토의 경우는 대부분의 항목이 퇴비발효온실에서 높게 나타나 그 효과가 현저하였다.

표 2에는 주당 평균 총 수확과수, 수확총량, 개당 평균과중을 나타내었다. 생육이 진전됨에 따라 관행온실보다 퇴비발효온실에서의 방울토마토 총수확과수와 수확총량이 많아졌다. 일반토마토에서는 그 경향이 더욱 뚜렷하였다. 개당 평균 과중은 방울토마토의 경우 큰 차이가 없었으나 일반토마토의 경우 5월 6일까지는 퇴비발효온실에서 컸으나 그 후에는 관행온실에서 크게 나타났는데 果房當着果數의 영향을 반영하는 것으로 생각되었다.

평균 당도는 표 3과 같이 퇴비발효온실에서 재배된 방울토마토의 당도는 8.5~9.2인 반면 관행온실에서 재배된 방울토마토의 당도는

Table 1. The difference of flower setting number, fruit setting number, harvesting fruit number, fruit fresh weight and fruit dry weight in composting greenhouse.

Investigating date	Variety of Tomato	Treatment	Flower setting number (ea/plant)	Fruit setting number (ea/plant)	Harvest fruit number (ea/plant)	Fruit fresh weight (g/plant)	Fruit dry weight (g/plant)
Feb. 15	Cherry tomato	control greenhouse	15.3	3	0	0	0
		composting greenhouse	14.3	2.5	0	0	0
	Tomato	control greenhouse	0.3	0	0	0	0
		composting greenhouse	0	0	0	0	0
Feb. 25	Cherry tomato	control greenhouse	9.3	9.3	0	5.1	6.9
		composting greenhouse	9.5	10.8	0	2.4	3.0
	Tomato	control greenhouse	3.3	0	0	0	0
		composting greenhouse	3.8	0	0	0	0
Mar. 6	Cherry tomato	control greenhouse	16.8	12	0	9.7	2.2
		composting greenhouse	16.8	13.3	0	27.3	13.8
	Tomato	control greenhouse	3.5	0	0	0	0
		composting greenhouse	10	0	0	0	0
Mar.16	Cherry tomato	control greenhouse	20.5	19.5	0	28.2	13.2
	composting greenhouse	27.3	18.5	0	29.7	11.2	
Mar.26	Tomato	control greenhouse	4.3	1.8	0	1.5	0.04
		composting greenhouse	9	2.8	0	3.2	0.2
	Cherry tomato	control greenhouse	36	40.8	2.3	130.1	86.7
		composting greenhouse	47.3	53.5	0	117.0	64.5
	Tomato	control greenhouse	6.8	3	0	8.4	3.4
		composting greenhouse	15	11.8	0	26.4	6.6

note: The number is average of five plants

7.0~9.0으로 나타났다. 한편 퇴비발효온실의 일반토마토의 경우 당도가 6.5~7.5인 반면 관행온실의 경우에는 5.9로 나타나 퇴비발효온실 토마토의 당도가 약 1도 정도 높게 나타났다. 이것은 앞에서 살펴본 바와 같이 탄산가스 농도와 지온이 개선 됨에 따라 광합성산물의 증가와 전분에서 당으로의 전환이 촉진되었기 때문으로 생각된다^{2, 3, 4, 6)}.

적 요

본 연구는 온실내에서 퇴비발효 과정중에 발생하는 암모니아가스의 동태와 퇴비발효에 수반되는 환경의 변화가 토마토의 생육에 어떠한 영향을 미치는지 구명하고자 관행온실과 퇴비발효온실의 환경변화를 추적하면서 토마토의 성장과 수량 및 과일의 품질을 비교하였다.

1. 온도는 난방기에 의해 일정온도로 유지 되도록 설정하였고 주간에는 25℃이상에서 환기를 하였기 때문에 두 온실간의 차이가 없었다.

양 · 홍 · 박 · 손 : 퇴비발효온실의 환경조건이 토마토의 생육에 미치는 영향

Table 2. The averages of total harvest fruit number per plant, total fruit weight per plant and fruit weight per each fruit as affected by composting greenhouse environment.

Investigating date	Variety of Tomato	Treatment	Total harvest fruit number (ea/plant)	Total fruit weight (g/plant)	Average fruit weight (g/ea)
Apr. 5	Cherry tomato	control greenhouse	15.4	132.7	8.62
		composting greenhouse	6.2	56.3	9.08
	Tomato	control greenhouse	0	0	0
		composting greenhouse	0	0	0
Apr. 15	Cherry tomato	control greenhouse	20.8	213.9	10.3
		composting greenhouse	10	95.2	9.52
	Tomato	control greenhouse	0	0	0
		composting greenhouse	0.4	15.6	38.95
Apr. 25	Cherry tomato	control greenhouse	19.2	250.7	13.06
		composting greenhouse	23.4	300.3	13.69
	Tomato	control greenhouse	0	0	0
		composting greenhouse	0.2	20.5	102.5
May. 6	Cherry tomato	control greenhouse	22.4	205.8	9.19
		composting greenhouse	39.6	447.3	11.3
	Tomato	control greenhouse	0	0	0
		composting greenhouse	4.4	501.2	113.91
May. 15	Cherry tomato	control greenhouse	28.2	259.5	9.2
		composting greenhouse	72.4	735.8	10.16
	Tomato	control greenhouse	0.6	95.6	159.27
		composting greenhouse	7	839.5	119.92
May. 27	Cherry tomato	control greenhouse	44	424.1	9.64
		composting greenhouse	80.6	746.4	9.26
	Tomato	control greenhouse	5.4	1094.7	202.73
		composting greenhouse	14.2	1707.4	120.24

note: The number is average of five plants.

Table 3. The average sugar content of fruit as affected by composting greenhouse environment.

Variety of tomato	Treatment	Apr. 15	Apr. 25	May 6	May 15	May 27
Cherry tomato	control greenhouse	8.98	8.96	8.41	7.77	7
	composting greenhouse	9.24	9.08	9.22	9.08	8.51
Tomato	control greenhouse	—	—	—	5.93	5.88
	composting greenhouse	6.75	7.5	7.13	6.48	7.2

note: The number is average of sugar content which are measured at every cluster with five plants.

2. 퇴비발효온실 지중 10cm깊이의 지온은 관행온실보다 주간 약 7℃, 야간 약 10℃ 높았으며, 지중 30cm깊이의 퇴비발효온실의 지온은 관행온실의 지온보다 약 10~15℃ 높았다.

3. 발효시작후 2, 3, 4, 5, 및 6일째의 암모니아가스 휘산농도는 각각 5.4, 13.3, 114, 114.7 및 117.3ppm으로 상승하였다. 발효후 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 14일 째에는 각각 79.3, 41, 41, 54.7 10.7, 20, 82 및 27ppm으로 발효 7일째부터 낮아져서 8일 이후에 현저히 감소하였다. 발효 16일째에는 15.7ppm으로 낮아졌으나 작물에 따라서는 8ppm에서도 암모니아가스 장해를 받을 수 있으므로 본 실험과 같은 조건으로 발효를 시키는 퇴비발효온실에서의 작물 정식은 발효시작 후 약 3주 이후가 되어야 할 것으로 판단되었다.

4. 관행온실내의 탄산가스 농도는 450ppm 내외인데 비해 퇴비발효온실내의 농도는 발효 후 1개월까지는 약 2500ppm 이상까지 높아졌으며 발효가 시작된 2개월까지는 무환기시 약 1000~ 1500ppm을 유지하였으며 2개월 이후부터 4개월까지는 약 700~1000ppm이 유지되었다.

5. 주간장을 제외하고는 전체적으로 관행온실보다 퇴비발효온실에서의 토마토 생육이 양호하였다. 특히 莖徑의 경우 정식 1개월 후부터 그 차이가 뚜렷하게 나타났으며 2개월 후에는 직경 약 1cm의 차이가 나타났다. 葉, 莖, 根의 生體重 및 乾物重도 생육이 진전됨에 따라 퇴비발효온실에서 현저히 증가하였다. 방울토마토의 경우 開花數와 着果數는 퇴비발효온실에서 높았으며 果重은 거의 비슷하거나 낮았다. 그러나 일반토마토의 경우는 모든 항목이 퇴비발효온실에서 높게 나타나 그 효과가 현저하였다. 퇴비발효온실 방울토마토의 총수확과수와 수확총중량은 생육이 진전됨에 따라 관행온실보다 많아졌으며 일반토마토에

서는 그 경향이 현저하였다.

6. 퇴비발효온실에서 재배된 방울토마토의 평균당도는 8.5~9.2인 반면 관행온실에서 재배된 방울토마토의 당도는 7.0~9.0으로 나타났다. 일반토마토의 경우 퇴비발효온실에서 당도가 6.5~7.5인 반면 관행온실에서는 5.9로 나타나 퇴비발효온실 토마토의 당도가 약 1도 정도 높아졌다.

인 용 문 헌

1. ASAE Swine Housing Committee. 1994. ASAE Standards EP470. Manure storage safety. pp. 607-610. A. Soc. Agr. Eng.
2. Calvert A. and G. Slack. 1975. Effects of CO₂ enrichment on growth, development and yield of greenhouse tomatoes. I. Response to controlled concentrations. J. Hort. Sci. 50: 61-71.
3. Hand D.W. and J.D. Postlethwaite. 1971. The response of CO₂ enrichment of capillary-watered single-truss tomatoes at different plant densities and seasons. J. Hort. Sci. 46: 461-470.
4. Hinkelton P.R. and P.A. Jolliffe. 1978. Effects of greenhouse CO₂ enrichment on the yield and photosynthetic physiology of tomato plants. Can. J. Plant Sci. 58: 801-817.
5. John W. Mastalerz. 1977. The greenhouse environment. pp.229-330. John Wiley & Sons.
6. 李龍範. 1991. CO₂의 長期施用이 토마토의 生育, 無機養分吸收, RuBP Carboxylase의 活性 및 光合成에 미치는 影響. 서울大 博土學位論文. pp. 21-28, 50-52.