한국환경농학회지 제16권 제2호(1997)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 16, No. 2, pp. 119~123

우분뇨와 왕겨 혼합물의 정치식과 통기퇴적식 퇴비화 과정에서 CO_2 및 NH_3 가스 발생과 토마토 생육†

손보균 · 홍지형 · 박금주 · 양원모 · 김길용[1] · 임요섭[2]
순천대학교 농과대학, [1]미주리대학교, [2]원광대학교 농과대학

Emission of CO_2 and NH_3 from Mixed Composting Cattle Manure with Rice Hull by Static Whindrow and Aerated Static Pile Methods, and Growth of Tomato on It under Greenhouse Condition

Bo-Kyoon Sohn, Ji-Hyung Hong, Keum-Joo Park, Won-Mo Yang, Kil-Yong Kim[1] and Yo-Sup Rim[2] (*College of Agriculture, Sunchon National University, Sunchon 540-742, Korea* ; [1]*University of Missouri, Columbia, MO 65201, USA* ; [2]*College of Agriculture, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea*)

Abstract : This study was performed to evaluate the influence of composting process with an intermittent aeration on the variation of rhizosphere soil temperature, CO_2 and NH_3 release, and the growth reponse of tomato plantlet in traditional and composting greenhouse.

As the temperature of composting materials increased, rhizosphere soil temperature in 30cm depth rose up to 32℃ at one week after introduction. This was 18℃ higher than that of traditional greenhouse. After 20 days of active composting, temperature of rhizosphere soil started to decrease and remained constant at 23℃ after 35 days. For the traditional greenhouse, the averaged temperature ranged at 14~15℃. This results showed that composting greenhouse had the greater effect on increasing the underground temperature.

Average value of evoluted CO_2 from the composting greenhouse for 70 days was 782~1154 ppm. This was 1.7~2.6 times higher than that of the traditional greenhouse with an average of 440~462 ppm.

NH_3 release was highest during 2~10 days in intermittent aerated composting and reached to 134 ppm maximum on the 5th day, then decreased rapidly, and maintained at 3~4 ppm after 17 days.

Increased photosynthesis due to the CO_2 gas and a favorable rhizosphere environment due to the increased underground temperature resulted in improved growth, yield, and Brix degree of tomato fruit.

서 언

유기물이 분해될 때는 열과 탄산가스(CO_2)를 비롯한 여러가지 휘발성 물질의 방출이 수반된다. 과거에는 촉성재배의 육묘단계에 발효열을 이용하기 위해 여러가지 유기물을 발열재료로 사용하였으나 부수적인 문제점 때문에 계속적인 이용이 어렵게 되었다. 일반적으로 온실의 난방비는 경영비의 약 30%정도를 차지하기 때문에 연료비를 절감하는 것은 생산단가를 낮추는데 대단히 중요한 역할을 한다. 이 때문에 가축분뇨의 부숙과정에서 발생되는 발효열 이용의 잠재력은 매우 커서 효과적인 발효열 이용 시스템의 모색은 필요하다.

CO_2는 광합성작용에서 없어선 안되는 중요한 요소이며 그 농도는 광합성량을 결정한다. 대기중 CO_2함량은 주야간, 계절 및 지역적으로 차이를 보이지만 현재 일반적인 대기중의 CO_2함량을 360ppm내외 수준으로 추정하고 있으며[1] 이 보다 높은 농도로 시설내 CO_2공급은 작물의 생육촉진과 수량증대 뿐만 아니라 품질향상에 그 효과가 인정되어 선진국에서는 CO_2시용기술이 이미 보편화되어 있다. 특히 저온기의 밀폐된 시설재배에서 CO_2시용효과는 매우 클 것으로 기대되며 근년의 연구결과에서도 토마토재배시 CO_2시용으로 수량증가를 확인한 바 있다[2].

가축분뇨의 퇴비화과정에서 문제가 되는 것은 발생되는 각종 가스로 인한 악취문제이며 이들 가스의 종류는 질소나 유황성분이 다량 함유된 유기물의 분해시 이산화질소, 아민, 암모니아가스, 황화수소, 메르캅탄, 메칠설파이드 및 휘발성 지방산류 등이 확인된다[3]. 퇴비화과정에서 발생되는 악취가스 중에서 부숙초기의 과량의 NH가스 발생은 인축의 호흡기에 직접적 해를 끼치기도 하지만 작물에 직접 · 간접으로 해를 끼치며, 토양에 미숙퇴비를 시용하였을 경우에 작물체의 지상 · 지하부에 직접적으로 장해를 유발하여 식물체의 고사와 뿌리의 신장을 저해한다 하였다[4]. 반면에 생성된 유리 NH_3은 매우 반응적이어서 산소의 공급이 충분한 조건에서는 생성된 NH_3가 유기물과 반응하여 안정한 화합물의 생성이 가능해서[5] 차후의 암모니아화작용에 저항할 수 있는 안정한

†본 연구는 1995년도 농림수산부 특정연구사업지원에 의하여 수행된 결과의 일부임.

형태의 화합물로 변환되기도 하는데 이와 같은 변환은 최종적인 완숙퇴비의 이용면에서 아주 중요하다[6].

몇 가지 작물에 대한 NH_3가스 장해정도 조사[7]에서 작물의 종류와 농도에 따라 피해정도가 다름을 보고하였으며, 김 등[8]에 의해 대두에 대한 NH_3가스 피해실험과 원예작물에 대한 가스피해경감에 관한 시험이 수행된 바 있다[9].

본 연구는 비닐하우스 조건에서 밀폐형 발효조에 강제통기방식으로 퇴비재료를 부숙시킬 때 방출되는 CO_2의 이용과 퇴비화과정에서 발생되는 발효열에 의해 하우스내 근권토양의 가온효과 등을 검토하기 위해 수행한 일련의 실험 중 퇴비재료의 이화학적 요인에 대하여는 전보[10]에 발표하였으며, 본 보에서는 우분뇨의 퇴비화에서 발효열 이용과 CO_2 시용효과를 토마토 재배를 통해서 구명하고자 수행한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

온실 및 퇴비화시설

퇴비재료의 치상은 전보[10]와 같이 가온장치가 설치된 비닐하우스 내의 지하에 U자형 콘크리트 발효조(60×60×800 cm)를 3반복으로 배치하고 그림 1에서와 같이 발효조 사이의 이랑에 작토를 투입하여 토마토를 정식하도록 하였으며, 한편 관행온실은 콘크리트 발효조 대신에 두께 10cm의 스티로폼을 퇴비화시설과 동일하게 설치하여 비슷한 환경조건이 되도록 하였다.

지온, CO_2 및 NH_3 가스 측정

지하밀폐식 퇴적발효열에 의한 근권토양 가온효과와 CO_2 발생량을 비교하기 위해 따로 동일규격의 비닐하우스를 설치하고 온도측정 센서와 CO_2측정기(NDIR방식)를 설치하여 AD변환장치를 통해 측정된 자료가 매시간마다 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 우분뇨 퇴비화의 초기에 발생되는 NH_3 가스의 발생양상을 조사하기 위해 따로 정 6면체의 회분식 발효조(3.38m³)를 설치하고 약 1.3톤의 전보[10]에서 사용하였던 퇴비재료를 충진하였으며 발효조 밑면에 설치된 파이프를 통해 간헐통기를 15분간 통기하고 45분간 정지하였다. NH_3가스 측정은 발효조 윗면 중앙에 설치한 직경 20cm의 고무제 주름관으로 배출되는 NH_3가스를 대기압상태에서 NH_3가스 측정기(GASTEC, No. 800)로 측정하였다.

토마토 재배와 생육조사

공시 토마토는 일반 토마토(하우스 모모타로, 다이키종묘)를 65일간 육묘 후 25cm 간격으로 한 줄당 33주씩 정식하여 약 4개월간 생육시켰다. 온실내의 온도는 4단 변온시스템으로 6시부터 9시까지는 18℃, 9시부터 15시까지는 20℃, 15시부터 21시까지는 16℃, 21시부터 6시까지는 14℃ 가 되도록 난방기 온도제어를 조정하였으며 주간에 실내온도가 25℃ 이상이 되면 환기를 하였다. 관수는 타이머를 이용하여 오전 10시에 작물의 생장과 토양수분상태에 따라 3~8분간 1일 1회 관수하였다. 관수량은 유량계를 이용하여 관행온실과 퇴비화온실의 관수량을 조절하였으며 생육중·후기의 퇴비화온실은 지중온도가 높고 생육이 빨라 토양이 쉽게 건조하였으므로 토양수분상태에 따라 관수량을 늘려 주었다.

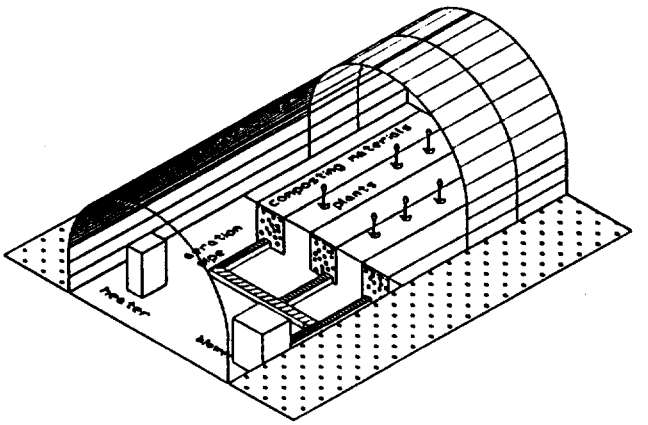

Fig. 1. General layout of composting greenhouse.

생육조사는 최종 수확시에 농촌진흥청 조사기준[11]에 따라 실시하였고 이 때의 조사항목은 초장, 경경, 엽수, 건물중, 개화수, 착과수, 생과중 등을 조사하고, 토마토의 수량과 품질을 조사하기 위하여 이와는 별도로 관행온실과 퇴비화온실에서 토마토를 각각 5주씩 선정하여 11화방에서 적심하였으며 정식 70일후인 4월 5일부터 10일 간격으로 5월 27일까지 수확된 토마토의 최종누적 수확과수 및 과중을 조사하였고 토마토의 당도는 4월 15일부터 10일간격으로 5회에 걸쳐 각 화방별로 조사하였다.

결과 및 고찰

지중온도의 변화

70일간의 퇴비화온실과 대조구인 관행온실의 지중온도, 퇴비발효조 내부온도 및 비닐하우스 내부온도의 경시적 변화는 그림 2와 같다. 지하밀폐형 강제통기 퇴비화방식과 대조 비닐하우스의 지중온도의 경시적변화를 보면 부숙개시 초부터 퇴비재료의 부숙온도 상승에 따라 지중온도 증가를 보이고 부숙개시 후 1주일에 최고온도를 나타내어 32℃까지 상승하여 대조구와 18℃의 차이를 나타냈으며, 토마토 정식기인 부숙개시 후 15일부터 1주일 동안은 14℃차이를 보였고 부숙개시 20일 후부터는 주발효의 종료와 함께 점차 온도감소를 나타내 35일 이후는 23℃수준을 일정하게 유지하였다. 그러나 지하밀폐형 퇴비조를 설치하지 않은 대조구의 지중온도 변화는 70일동안 14~15℃범위를 벗어나지 않아 퇴비발효열에 의한 근권토양의 가온효과가 확인되었다. 여기서 부숙초기부터 두 처리간에 지중온도가 8℃정도의 차이를 보인 것은 퇴비재료사입을 위해 미리 3일전 지하공간을 확보하였기 때문에 더워진 공기에 의해서 토양이 가온된

결과로 해석되었다. 식물생육에 알맞은 토양온도는 기후대[12], 식물의 종류 및 품종간에 변이[13]는 인정되지만 넓은 의미로의 적정온도는 20~25℃범위로 보고 있으며 식물의 근권에 적정온도를 유지시켜 준다는 것은 뿌리의 발생이나 신장 등을 포함한 각종 식물호르몬의 정상적인 기능을 가능하게할 뿐만아니라 전반적인 식물생장요인에 직접간접으로 영향을 미치게 된다[14].

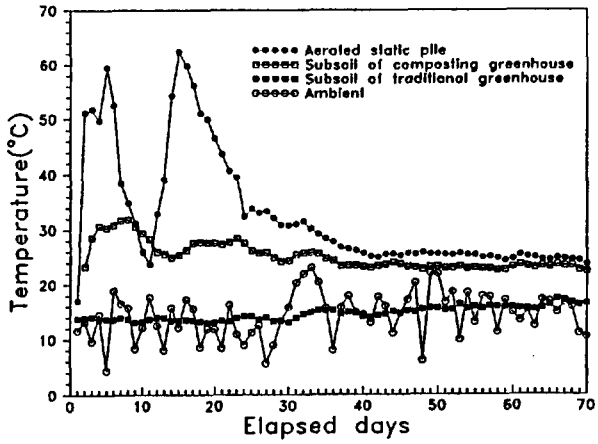

Fig. 2. Temperature profiles in subsoil of greenhouse during active stage of composting.

CO_2 농도의 변화

퇴비화 온실 지면으로 부터 35cm높이에서 낮 12시에 측정된 CO_2 농도의 조사결과는 그림 3에서와 같다. 부숙초기와 부숙개시 후 4주일부근의 높은 발생량을 보이기도 하지만 전반적으로 대조구인 관행온실에서의 CO_2 농도 450ppm수준에 비해서 더 많은 발생량을 나타내고 있으며 매 시간별 경시적 조사치를 토대로 한 평균치 계산에서 퇴비화온실 782~1154ppm과 관행온실의 440~462ppm을 비교하면 1.7~2.6배의 CO_2 농도차이를 보였다. CO_2는 광, 수분, 온도 및 토양양분 등과 함께 광합성을 통한 물질생산에 없어서는 안될 중요한 요소이다. 일반적으로 대기중의 CO_2의 함량은 360ppm 내외수준으로 추정하고 있으며[1] 산업화 도시화에 따른 에너지 사용량 증대로 인해 대기 중 CO_2는 해마다 증가되는 실정에 있으나 밀폐된 시설내의 작물의 생육, 수량 및 품질향상에 필요한 CO_2의 농도로는 부족하다. 특히 동절기의 시설재배환경은 온도유지 때문에 밀폐하여 재배하므로 하우스안의 CO_2 농도가 낮아져 온실재배시 CO_2 시용효과는 많은 실험결과에서 확인할 수 있고, 이[2]의 실험결과는 토마토재배시 CO_2 800ppm, 2,400ppm시용처리에서 초기(1~2화방) 수량이 평균과중의 증가와 공동과율의 감소로 각각 46.4%, 33.2%의 수량증가를 확인한 바 있다.

NH_3 가스발생의 경시적 변화

가축분뇨의 퇴비화과정에서 문제가 되는 것은 발생되는 각종 가스로 인한 악취문제이며 그 중에서도 부숙초기의 NH_3 가스 발생이 큰 문제로 알려져 있다. NH_3과 pH는 상호의존적이고 활발한 암모니아화작용은 1주일내에 끝나며[15] NH_3과 NH_4이온의 평형은 pH의 지배를 받게 되는데 pH값이 7과 이 보다 낮을 때는 NH_4이온이 주로 존재하고 반면에 pH가 9부근이나 이 보다 높을 때 유리 NH_3로 존재한다[16].

강제간헐 통기방식의 퇴비화과정에서 부숙초기 단계에 다량 발생하는 NH_3가스의 방출량을 조사한 결과는 그림 4와 같다. 퇴비재료 충진당시의 NH_3 가스농도는 3.4ppm이였으나 퇴비화개시 후 4, 5일의 조사시 114, 134ppm을 각각 보여 최대치를 나타냈고 점차 감소되어 12일째는 24ppm수준으로 떨어져 계속적인 감소양상을 보였으며, 17일째 조사시부터는 퇴비화개시 전의 농도로 감소되어 3~4ppm수준을 나타냈다. 대기중 NH_3 가스농도가 8ppm에서도 식물에 악영향을 미친다고 한 결과[17]를 감안한다면 본 조사결과로는 퇴비화개시 후 18일부터 문제가 없겠으나 부숙조건의 다소간의 변동을 고려해서 감안한다면 부숙개시 후 20일 후면 작물의 생육에 문제가 없다고 판단되었다.

과량의 NH_3 가스는 인축의 호흡기에 직접적 해를 끼치

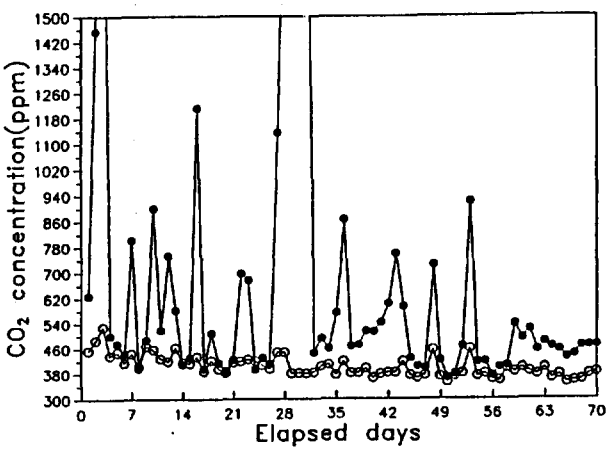

Fig. 3. CO_2 concentration between composting greenhouse (●) and traditional greenhouse(○).

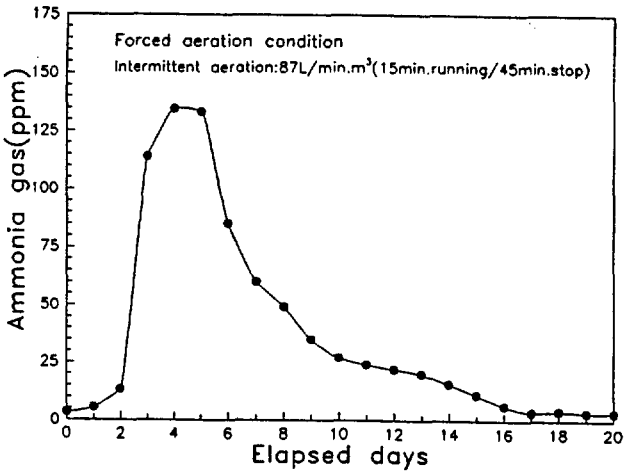

Fig. 4. Changes in evolution of NH_3 gas during intermittent aerated composting.

기도 하지만 토양에 미숙퇴비를 시용하였을 경우도 작물체의 지상·지하부에 직접적으로 장해를 유발하여 식물체의 고사와 뿌리의 신장을 저해한다고 하였으며[4], 토마토의 경우 10~17ppm과 20ppm 농도로 처리하였을 때 각각 25.9%와 34%의 장해정도를 보이고 토마토, 딸기, 고추의 순서로 장해가 심하다고 보고한 바 있다[7].

토마토의 생육

공시 토마토의 생육, 수량 및 과일의 당도변화는 표 1과 2에서와 같다. 먼저 생육상황을 보면 정식 후 2개월째의 초장, 경경, 엽수 및 건물중의 차이가 관행온실에 비하여 퇴비화 온실에서 더 높게 나타나고 있으며 특히 건물중에서는 3.9배의 차이를 보인다. 또한 주당 개화수, 착과수 및 생과중에서도 대조구와 많은 차이를 나타내고 있고 토마토 묘의 정식 후 4개월간의 주당 누적된 수확 토마토 개수와 중량도 퇴비화온실에서 많았으며 퇴비화온실에서 수확된 토마토 총과중의 경우 관행온실에 비해 60%의 증수를 보였다. 그러나 개당 평균중량은 반대의 결과를 보이는데 그 이유는 대조구에서 주당 수확된 토마토 개수가 적기 때문이다. 이와 같이 수량에 영향을 미치는 요소들의 향상결과는 앞에서 확인된 바와 같이 높은 CO_2농도와 근권토양의 가온효과에서 온 것으로 판단되었다. Kimball[18]의 CO_2 시용효과에서 엽근채류는 40%, 과채류에서는 20%의 수량증대를 보였다고 하였고, CO_2시용으로 초기생육과 수량이 증가된다고 하였다[19]. 표 2의 토마토 열매의 5차에 걸친 당도조사에서도 퇴비화온실의 토마토의 경우 당도가 6.5~7.5인 반면 관행온실은 5.9수준으로 나타나 퇴비화온실 토마토의 당도가 약 1도 정도 높게 나타났다. 이것은 앞에서 살펴본 바와 같이 CO_2 농도 증가로 광합성효율을 높였고[2], 발효열에 의한 지온상승효과의 혜택을 받아서 전반적인 생육이 양호해진 결과로 해석되었다.

Table 1. Comparison of yield components and yield of tomato at 60 days after planting.

Items	Control	Compost
Plant height(cm)	88.8	140.8***
Stem diameter(mm)	13.0	19.6**
Leaf numbers(No./plant)	16.8	21.5*
Dry weight of Plant(g)	26.8	104.8***
Flowering number(No./plant)	6.8	16.0***
Fruit setting number(No./plant)	3.0	11.8***
Fresh weight of tomato(g/plant)	8.4	26.4***
Total fruit(No./plant)[@]	5.4	14.2***
Total weight of fruit(g/plant)[@]	1094.7	1707.4**
Average weight(g/plant)[@]	202.7	120.2

[@] Investigated at 4 months after planting.
*, ** and *** indicated significant level by *t*-test at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.001$, respectively.

Table 2. Changes in Brix degree of tomato fruit.

Treatment	Investigation				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Traditional greenhouse	-	-	-	5.9	5.9
Composting greenhouse	6.8	7.5	7.1	6.5	7.2

적 요

비닐온실내의 간헐 통기방식의 우분뇨 퇴비화에서 발효열에 의한 근권토양의 지온변화와 CO_2 및 부숙최기의 NH 가스발생양상을 조사하고 토마토 재배를 통하여 그 혜택을 구명하고자 수행하였다.

퇴비화시설 온실 30cm깊이의 지중온도 변화는 퇴비재료의 부숙온도 상승에 따라 지중온도 증가를 보여 부숙개시 후 1주일에 최고 32℃까지 상승하여 대조구에 비해 18℃의 차이를 보였고, 부숙개시 20일 후부터는 주발효의 종료와 함께 점차 온도감소를 나타냈으며 35일 이후는 23℃수준을 일정하게 유지하는 반면에 대조구인 관행온실의 지중온도는 70일동안 14~15℃범위를 벗어나지 않아 퇴비발효열에 의한 토마토 근권토양의 가온효과가 확인되었다.

전 조사기간에 퇴비화 온실에서 발생되는 CO_2 평균값은 782~1154ppm으로 관행온실(대조구) 440~462ppm수준에 비해서 1.7~2.6배의 차이를 보였다.

간헐통기 퇴비화에서 발생하는 NH_3 가스는 부숙개시 후 3~10일내에 다량 방출되었으며, 5일째 조사시 최고치인 134 ppm을 보인 후 감소하여 17일부터는 3~4ppm수준을 나타냈다.

비닐하우스내 밀폐 강제통기 퇴비화방식은 퇴비재료가 부숙되는 동안 방출되는 CO_2와 발효열에 의한 광합성 증대와 작물근권 온도를 높여 주는 효과로 인해 토마토의 생육, 수량 및 당도의 증가를 보였으며 총과중의 경우 60%의 증수를 나타냈다.

참고문헌

1. Allen, L.H. Jr. (1990). Plant reponse to rising carbon dioxide and potential interactions with air polutants. J. Envior. Qual. 19, 15~34.
2. 이용범(1991). CO_2장기시용이 토마토의 생육, 무기양분 흡수, RuBP Carboxylase의 활성 및 광합성에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
3. Dorling, T.A. (1977). Measurement of odour intensity in farming situation. Agri. Environ. 3, 109~120.
4. Schenk, M.K. and Wehrmann, J. (1979). The influence of ammonia in nuturient solution in growth and metabolism of cucumber plants. Plant Soil 52, 403~414.
5. Mortland, M.M. and A.R. Wolcott. (1965). Sorption of inorganic nitrogen compound by soil materials. In Soil Nitrogen, W. V. bartholomew and F.E. Clark(eds.). American Society of Agronomy, madison, Wisc., pp. 151~197.

6. Myers, R.G. and S.J. Thien. (1988). Organic solubility and soil reaction in an ammonium and phophorous application zone. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 516~522.
7. 高井康雄, 早瀨達郎, 熊澤喜久雄(1976). 植物營養土壤肥料大事典. 養賢堂. pp. 741~742.
8. 김복영, 한기학, 김선관(1979). 대두에 대한 Ammonia가스의 영향. 한토비지 12(2), 109~116.
9. 김복영, 조재규(1987). 채소원예작물에 대한 가스피해 및 피해경감에 관한 연구. 1. 무우, 배추, 토마토, 오이에 대한 Ammonia가스의 영향. 한토비지 20(2), 139~145.
10. 손보균, 홍지형, 박금주(1966). 우분뇨와 왕겨 혼합물의 퇴비화에서 혐기정치식과 통기퇴적식의 비교연구. Ⅰ.퇴비재료의 이화학적 환경변화. 한토비지 29(4), 403~410.
11. 농촌진흥청(1983). 농사시험연구조사기준, 개정제1판. 1983.
12. Davidson, R.L. (1969). Effect of root/leaf temperature differences on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover. Ann. Bot. 33, 561~569.
13. Cooper, A.J. (1973). Root temperature and plant growth - A Review, Research Review No. 4. Common wealth Bureau of Horticulture and Plantation Crop, Commonwealth Agriculture Bureau, p. 73.
14. Bowen, G.D. (1991). Soil temperature, root growth, and plant function, In : Plant Root (Waisel, Y., A. Eshel and U. Kaftafi, eds.), pp. 309~350. Marcel Dekker, New York.
15. Miller, F.C. (1992). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors, In : Soil microbial ecology(F. Blaine Metting, Jr. ed.), pp. 515-544., Marcel Dekker, Inc., New York.
16. Koster, I.W. (1986). Characteristics of the pH-influenced adaptation of methanogenic sluge to ammonia toxicity. J. Chem. Technol. Biotechnol. 36, 445~455.
17. John, W.M. (1977). The Greenhouse Enviornment. John Wiley & Sons, pp. 329~330.
18. Kimball, B.A. (1983). Carbon dioxide and agricultural yield : An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75, 779~788.
19. Peet, M.M. (1986). Acclimation to high CO_2 in monoecious cucumber, Ⅰ. Vegetative and reproductive growth. Plant Physiol. 80, 59~62.