Korean J. Environ. Agric.
Vol. 15, No. 4, December 1996

토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)의 發芽期 및 幼苗期 浸水 處理에 따른 生育 反應

具滋玉* · 盧相彦** · 鞠龍仁* · 千相旭* · 李榮萬* · 吳潤鎭***

Effects of Depth and Duration of Water-logging on Growth and Yield at Germination and Seedling Stage in Tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Ja-Ock Guh*, Sang-Eun Roh**, Yong-In Kuk*, Sang-Uk Chon*, Young-Man Lee* and Yun-Jin Oh***

Abstract

Tomatoes are water logged differently 0, 5, 10 and 15 cm, according to the developing stages such as germination and seedling stage under the condition of greenhouse. Along with this, they are treated according to the time condition such as 6, 12, 24, 48 and 120 hours. The results obtained are summarized as follows.

1. The result at germination stage

Remarkable germination failure was observed when tomatoes were water-logged for 25 to 27 hours in the depth of 0 to 5 cm. Plant height recovered within 24 hours regardless of the water-logging depths. In the case of leaves, the recoverable time limit became shorter gradually in accordance with the increase of the water-logging depth. The decrease of the fresh weight showed acute response in the shoot rather than the root. It recovered with the 24 hours of water logging. Significant correlation was observed in all characteristics of plant height, number of leaves, fresh weight and germination rates according to the depth of water-logging.

2. The result at seedling stage

Plant height recovered within the 24 hours of water-logging in the depth of 0 cm. On the deeper level, there was significant decrease regardless of time. With regard to the number of leaves, there was recovery up to 120 hours in the depth of 0 cm, up to 24 hours in the depth

*전남대학교 농과대학(College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju, 500-757)
** (주) 동양화학(Oriental Chemical Industries, Seoul, 100-070)
***영남농업시험장(National Yeongnam Agricultural Experiment Station, Milyang, 627-130)
°본 연구는 농촌진흥청 연구비 지원에 의하여 수행한 연구의 일부임.

of 5 cm. There was, however, significant decrease when done for more than 6 hours on the deeper level. Growth of the shoot displayed the same tendency as in plant height and number of leave. The length of the longest root could be maintained by 80% in the water-logging of 0 cm compared with control. However in depth of 5 cm or more, it could not be maintained by the 120 hours water-logging.

Root activity became conspicuously diminished with the logging over 0 cm. Respiration showed conspicuous decrease by the depth of 5 cm as a turning point. On the other hand, photosynthesis became decreased linealy by the depth of water-logging. Chlorophyll content displayed gradual decrease up to 48 hours, but conspicuously decreased up to 120 hours according to the varying depth of water-logging.

Dieases tended to increase according to the depth and hours of water-logging. Diseases would be prevented by dint of insecticide, but there was no effect of fertilization.

Weight and number of fruit per plant displayed gradual decrease as the depth and hours of water-logging became increased. Average weight of a fruit became increased. There was no statisticaly reciprocal effects between the depth and hours of water-logging.

There was significant positive correlation among all the investigated characteristics, such as traits of growth and yield.

Key words : Tomato, water-logging

緖 論

밭작물의 침수에 의한 피해는 배수가 불량한 토양이나 지나친 관수 또는 집중적인 강우에 의하여 일어난다. 우리 나라에서는 특히 6~7월의 장마기에 단시간의 집중적인 강우가 있을 때 배수가 잘 되지 않는 토양에서 침수 피해가 일어나기 쉬우며, 또한 비닐 하우스 등의 시설 내에서 일시적으로 지나치게 많이 관수하였을 때도 침수 피해가 일어날 수 있다. 작물이 일정 기간 침수가 되었을 때는 토양내의 산소 부족으로 인하여 토양 내부나 식물체에서 정상과는 다른 변화를 일으켜 작물의 생육 저해나 수량 감소를 초래하고, 심할 경우 식물체가 죽게 된다.

토마토는 침수에 매우 약한 작물로 알려져 있다[1]. 침수가 토마토에 형태적·생태적으로 많은 변화를 일으키는데, 침수에 의한 변화가 주로 나타나는 것은 초장, 건물중, 엽면적, 기공 통기성, 수량 등에서 감소를 초래하며, 침수가 장기간일 경우는 식물체가 고사하게 된다[1~3].

토마토가 침수에서도 생존하거나 부분적으로 생육을 회복하게 되는 것은 부정근의 발생에 의하는데[4,5], 침수에 의한 토마토의 품종간 뿌리의 형태적 차이가 나타난다고 보고되고 있다[5]. 토마토가 침수되었을 때에 부정근의 발생 저하는 침수를 중지한 이후의 줄기의 생육 회복에 중요하게 영향을 미친다[4,6]. Kramer[7]는 토마토의 침수 시에 부정근이 생성된 개체는 피해가 적었으며 이후 회복율도 높았음을 보고하였다.

본 연구는 침수피해가 흔히 나타나는 토마토에서 생육단계별로 침수의 깊이와 시간에 따른 작물학적 피해정도를 밝히기 위한 시험의 하나로서 발아 및 유묘기의 반응 특성을 조사한 것이다.

材料 및 方法

1. 植物材料

본 실험은 1992년 6월부터 10월까지 전남대학교 농과대학 온실에서(낮 : 25℃, 밤 : 21℃) 실시하였으며, 식물 재료는 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.) 서광품종의 종자를 침종 최아시켜 육묘용 훈탄에 파종하였다. 파종후 본엽이 전개시 밭 토양으로 충진된 소형 둥근 포트 및 1/5,000 a 포트에 이식하여 실험재료로 사용하였다. 본 실험에 사용된 밭 토양의 물리 화학성은 표 1과 같다.

Table 1. Chemical properties of soil used for pot experiments.

pH	O.M.	T-N	Avail.P_2O_5	Avail.SiO_2	C. E. C.	Exch. Cations (me/100g)		
(1 : 5 H_2O)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(me/100g)	Ca	Mg	K
5.88	0.54	0.04	75.8	210.8	19.5	8.3	8.5	0.36

2. 浸水處理

침수처리는 적습처리를 무처리로 하여 침수깊이를 지표면 위 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm의 4개처리에 각각 침수처리 시간을 6, 12, 24, 48, 120시간으로 하여 21개 처리로 하였다. 침수처리 시간은 처리시간 종료를 동일시점으로 역산하여 각각 6, 12, 24, 48 및 120시간 침수처리를 시작하였다. 침수처리시 물은 인위적으로 혼탁하게 만들어 사용하였다. 각 시험은 발아기, 유묘기의 생육 단계별로 나누어 시행하였는데, 침수처리한 각 생육단계의 처리시기는 발아기는 종자를 침종하여 최아된 상태에서 처리하였고, 유묘기는 본엽이 2-3매 정도일 때로 이때의 초장은 4-5 cm였다.

각 생육 단계에서 침수처리가 종료된 후는 적습상태로 유지하여 생육량, 형태적 특성 및 생리적 변화정도를 조사하였다.

3. 生育調査

발아기에 발아율은 침수처리후 3일에 각 생육단계에서, 초장은 침수종료 후 0, 3, 7, 13일에, 엽수, 지상부 및 지하부 생체중을 3, 7일에, 제일 긴 뿌리의 길이는 13일에 측정하였고, 병발생정도(겹무늬썩음병, 줄기썩음병)를 알아보기 위해 침수처리 후 0, 7일에 살균제 benomyl(상품명 : 벤레이트수화제)을 기준량 처리하여 병의 발생정도를 0~9로 달관조사하였다. 이때 0은 전혀 병이 나타나지 않는 것이며 9는 고사상태를 나타낸다. 또한 요소엽면시비에 의한 생육회복효과를 각 생육단계에서 각 침수처리별로 침수처리 종료 3일 후에 요소 0.7%를 엽면 살포하여 살포 후 15일에 초장, 엽수, 지상부 및 지하 생체중을 측정하여 생육회복효과를 조사하였다. 과실수, 평균과중, 과실중은 침수처리후 각 생육단계별로 수확시기에 조사하였다.

4. 生理的 變化調査

엽록소량은 각 생육단계별 침수 처리 종료 3일 후에 토마토의 최상단 잎 4g을 채취하여 80% acetone에 넣고 3일간 암소에 방치한 후 엽록소 a, b를 분광광도계를 사용하여 A645, 663nm에서 측정하였다.

잎 기공의 저항성은 침수처리 3일 후에 토마토의 최상단 잎을 기공저항측정기(Automatic porometer MK3, DELTA-T DEVICES LTD.)로 10시, 12시, 2시에 측정하였으며, 생장상의 온도는 25℃, 상대습도 80% 이었다.

근활력은 침수처리 종료 3일 후에 뿌리를 채취하여 물에 세척한 후에 α-Naphythylamine법[8]으로 측정하였다.

광합성 및 호흡량은 침수처리 종료 7일 후에 각 생육단계별 침수피해가 큰 토마토 최상단의 잎을 사용하여 산소전극(Rank Brother社의 Clark型)을

이용하여 광합성량 및 호흡량을 측정하였다.

반응조에 완충액(0.5mM $CaSO_4$가 포함된 50mM HEPES pH 7.2) 3ml를 넣고 교반기로 반응액중의 용존산소량을 안정시킨 다음 잎을 3mm로 절단하여 진공펌프로 절단한 식물체를 가라앉힌 후, 절단한 절편을 10개 넣어 10분간 광을 조사하고 광합성 기질[0.625M $NaHCO_2$]을 100㎕를 넣고 광합성 반응을 개시하여, 이때 증가되는 용존산소량을 기록하여 광합성량(μ mole $O_2/dm^2/hr$)을 산출하였다.

호흡량은 반응조를 검은 천으로 덮고 난 다음 용존산소량이 감소되는 양으로 호흡량을 산출하였다.

結果 및 考察

1. 發芽期 浸水 反應

발아된 토마토 종자를 서로 다른 깊이와 시간을 두고 침수처리한 결과, 적습조건에서 발아한 무처리에 비하여 전체적으로 5% 유의수준에서 발아 제한이 인정되었다. 그러나 1% 유의수준에서는 0 cm 48시간 침수까지 무처리와 대등한 발아 상태를 유지할 수 있었던 반면, 5 cm 이상의 깊이에서는 6시간까지의 침수에서만 대등한 발아 수준을 유지할 수 있었다. 이러한 결과는 토마토 종자가 발아하는데 산소요구도가 높다는 것을 의미하는 것으로서, 비록 발아기라 하더라도 발아제한은 곧 입묘율의 감소를 나타내기 때문에, 수량에 직접적인 영향을 미칠 수 밖에 없으며, 따라서 가급적 6시간 이내에 배수처리가 필요함을 나타낸다고 하겠다. 堀裕 등[9]도 토마토 발아에 산소조건을 달리하였던 결과, 10%에서는 완전발아가 되었으나, 5%에서는 80% 발아, 2%에서는 불과 5% 밖에 발아하지 않았다고 보고한 바 있어, 토마토 종자가 발아하는데 토양통기와 매우 깊은 관련이 있음을 알 수 있었다.

또한 토마토 발아에 대한 치명적인 침수정도를 파악하기 위하여 각 침수 깊이에서 침수시간별 발아억제수준을 절선회귀식에 의하여 분석한 결과(그림 1), 0~5 cm 침수에서는 48시간 침수를 기점으로, 그리고 10~15 cm 침수에서 35~37시간을 기점으로 치명적인 발아제한이 이루어지는 것으로 판단되었다. 즉 침수깊이가 깊을 짧은 시간에 큰 영향을 받고 있으며, 이는 산소공급의 제한에 따른 반응으로 생각이 되었다. 齊藤[10]에 의하면 최아 6시간까지 종자발아에 필요한 수분량의 90%를 흡수하며, 堀裕[9]에 의하면 대기조건(O_2 : 21.4%, CO_2 : 0.03%)을 100으로 하였을 경우, 토마토의 발아율은 산소농도가 2%까지 저하되면서 거의 발아가 되지 않으며, CO_2가 40%로 증대되면 발아율이 70%로 떨어진다고 하였다. 이들과 관련시켜 볼 때, 토마토의 발아를 위해서는 가급적 토양이 최소한의 수분을 보유하면서 탄산가스 방출과 산소공급이 원활하게 유지되도록 관리해 줄 필요가 있는 것으로 판단된다.

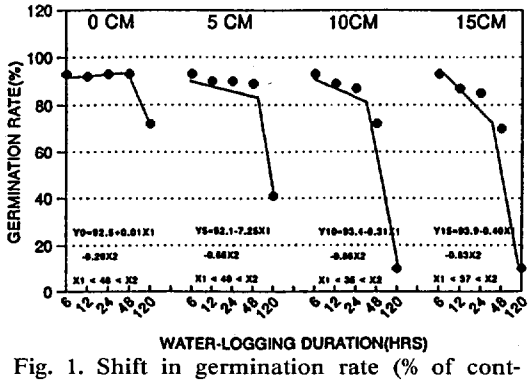

Fig. 1. Shift in germination rate (% of control) of tomato seeds as affected by different water-logging depth (cm) and duration (hrs.) through germination stage.

침수처리를 종료한 후 7일간의 회복을 유도하고 발아묘의 생장차이를 조사한 결과(표 2) 초장은 침수깊이에 관계없이 침수처리 24시간까지 무처리와 거의 같은 길이로 회복 가능하였으나, 개체당 엽수는 침수깊이가 5, 10, 15 cm로 증대됨에 따라 회복 가능한 침수경과시간의 한계가 각각 48, 24, 12시간 이내로 짧아지는 경향이었다. 그러나 생체중의 감소경향은 지하부보다 지상부에서 민감한 반응을 보임으로써 침수 경과 24시간까지만 회복이 가능한 것

으로 판단되었다. 이와 같은 결과는, 발아묘의 생장이 외부환경보다는 종자내의 배유에 의존하기 때문에 뿌리기능 영향력이 상대적으로 낮았던데 기인하는 것으로 보인다.

또한 앞에서 조사하였던 처리별 발아율과 초장, 엽수, 지상 및 지하부 생체중 간의 단순상관계수를 분석하였던 결과(표 3), 모든 형질간에 고도의 유의적 정의 상관관계가 인정되었다. 이는 침수처리와 같은 극한적인 산소공급 차단, 또는 토양과 대기간의 가스교환 차단[11~13]과 같은 처리의 영향이 이들 모든 조사형질에 직접적으로 그리고 공통적으로 억제 방향으로 예민하게 반영 되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 2. Variation(% of control) in plant height, number of leaves and fresh weight of tomato seedling germinated under different water-logging depth and duration through germination stage.

Water-logging		Plant height (cm)	Leaf number/plant	Fresh weight (g/5 plants)	
Depth(Cm)	Duration(H)	7DAW*	7DAW	Shoot	Root
0	6	98	100	95	96
	12	98	100	94	98
	24	96	100	100	100
	48	90	100	78	98
	120	85	100	78	97
5	6	97	100	94	100
	12	98	100	95	99
	24	96	100	94	98
	48	88	92	78	100
	120	49	25	50	48
10	6	98	100	94	100
	12	95	100	100	99
	24	94	100	94	100
	48	60	87	67	75
	120	21	0	33	25
15	6	97	100	94	100
	12	99	100	94	99
	24	94	87	94	98
	48	60	73	72	73
	120	20	0	33	27
LSD	5%	7	13	20	6
	1%	9	17	27	8
F-test					
Depth		**	**	NS	**
Duration		**	**	**	**
Depth x Duration		**	**	NS	**

*DAW : Days after water-logging treatment

Table 3. Simple correlation coefficients among germination rate, plant height, number of leaves per plant, and fresh weight of tomato seedlings germinated under different water-logging depth and duration through germination stage.

	GR	PH	NL	FWS	FWR
Germination rate(GR)		0.97**	0.98**	0.95**	0.98**
Plant height(PH)	0.97**		0.95**	0.97**	0.98**
No. leaves/plant(NL)	0.98**	0.95**		0.93**	0.98**
Fresh weight(shoot)(FWS)	0.95**	0.97**	0.93**		0.95**
Fresh weight(root)(FWR)	0.98**	0.98**	0.98**	0.95**	

* and ** indicate the significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively

2. 幼苗期 浸水 反應

토마토의 유묘기는 자엽전개에 따른 배유로 부터의 이유, 즉 독립영양생장기를 약 10~15일 경과한 식물체로서 뿌리발달은 물론 엽수분화와 경엽중 및 초장의 증대가 신속히 이루어지는 본격적인 영양생장기간이라 할 수 있을 것이다[14]. 이들 본엽 2-3매의 유묘를 사용하여 깊이와 기간을 달리하는 침수처리를 하고 처리후 13일간 포장용수량 조건하에서 생육회복을 유도하였던 결과(표 4), 0 cm 깊이에서는 24시간 처리수준까지 무처리와 대등한 정도까지의 초장 회복이 가능하였고, 그 이상 깊이에서는 침수시간과 관계없이 무처리 대비 유의적인 감소가 되었다. 개체당 엽수에서도 0 cm에서는 120시간까지

Table 4. Variation(% of control) in plant height, number of leaves and fresh weight of tomato seedling germinated under different water-logging depth and duration through seedling stage.

Water-logging		Plant height of	No.of leaves per plant at	Fresh weight at 7 DAW	
Depth(cm)	Duration(h)	13DAW	13DAW	Shoot	Root
0	6	98	98	100	103
	12	95	98	97	100
	24	96	98	88	100
	48	90	98	87	96
	120	85	98	77	86
5	6	85	93	97	100
	12	75	94	86	96
	24	63	95	86	82
	48	37	66	9	82
	120	0	0	0	0
10	6	78	90	100	100
	12	80	91	90	100
	24	70	90	82	97
	48	45	66	17	22
	120	0	0	0	0
15	6	73	93	92	96
	12	65	90	86	89
	24	65	87	86	79
	48	38	46	10	18
	120	0	0	0	0
LSD	5%	8	8	13	17
	1%	11	10	17	23
F-test					
Depth		**	**	**	**
Duration		**	**	**	**
Depth x Duration		**	**	**	**

*DAW : Days after water-logging treatment

회복이 되었고, 5 cm에서는 24시간까지 회복이 가능하였으나, 그 이상의 깊이에서 6시간 이상처리에서 유의적인 감소가 불가피하였다. 이와 유사한 결과가 지상 및 지하부 생장량(생체중)으로도 잘 표현이 되었으며, 특히 지하부 반응보다는 지상부 반응이 예민하였다.

高橋[15]는 본엽 2~3매의 토마토 묘에 관수량을 달리하여 15일간 육묘한 결과, 포장용수량 수준까지만 관수량이 증가할수록 생육과 수량이 높아졌으며, 그 이상에서는 오히려 저해하는 반응을 보였다고 하였다. 즉 관수량 증가에 의하여 토양중의 N와 K의 용탈이 초래되어 생육이 부진하였으며, 수량의 감소결과를 가져왔다고 하였다. 뿐만 아니라 과도한 관수량 증대는 유묘의 도장을 야기시킨다고 하였다. 본 시험은 단순한 관수량 증가, 즉 관수 횟수의 증대가 아니라 일정한 깊이의 침수처리였기 때문에 유묘 도장 이상의 근원적 생육억제가 야기되었던 것으로 보인다.

이와 같은 토마토의 침수영향을 영양생장 기작과 연관시켜 볼 때, 침수로 인한 토양의 수분과다와 산소억제[16,17]는 양·수분 흡수와 근군의 생장을 제약하여 결과적으로는 경엽생장을 제한하고, 최종적으로는 수량 저하를 초래할 것으로 예측된다[10,18~20]. 본 시험 결과(그림 2)로 볼 때, 0 cm 침수에서는 최장근 신장이 대조구의 80% 정도로 유지될 수 있었지만 5 cm 이상 깊이에서는 처리 차이에 관계없이 120시간 침수로 근신장이 불가능한 정도에 이르고 있었다(그림 2의 좌측). 특히 근활력은 침수정도에 따른 차이는 있었지만, 과포화 이상의 침수로 대조구에 비하여 치명적인 활력감퇴가 나타남을 알 수 있었다(그림 2의 우측). 이는 토마토의 근신장에 어떤 작물보다도 충분한 통기조건을 요구하고 있음을 나타낸다고 하겠다.

Williamson[21]은 침수로 인하여 근단세포의 신장이 억제되는데, 15~30분 침지로도 유의적인 영향이 있고, 24시간이면 완전 정지까지 이른다고 하였으며, 유사한 결과를 Lopoz-Saez 등[22]도 보고한 바 있다. 특히 근단에서는 에틸렌 전구물질인 ACC[1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid]가 형성되어 생장억제를 유도한다고 한다[2,23~25].

토양통기조건이 불량해지면 근수가 많아지는 반면 굵기가 굵어지고 짧은 암색으로 변하며 근모가 줄어 결국 양·수분 흡수가 불량해지는 것으로 알려져 있다[10]. 수경재배의 용액중에 녹아 있는 산소

농도가 토마토의 생육에 지대한 영향을 미치는 것[26]도 이와 같은데 연유하며, 토마토의 영양생장시에 적절한 토양중의 산소농도는 10% 이상이 되어야 한다는 보고도 있다[27].

유묘인 토마토에 침수 깊이를 달리하여 광합성과 호흡률 변화를 측정한 결과 (그림 3)에서도 5 cm

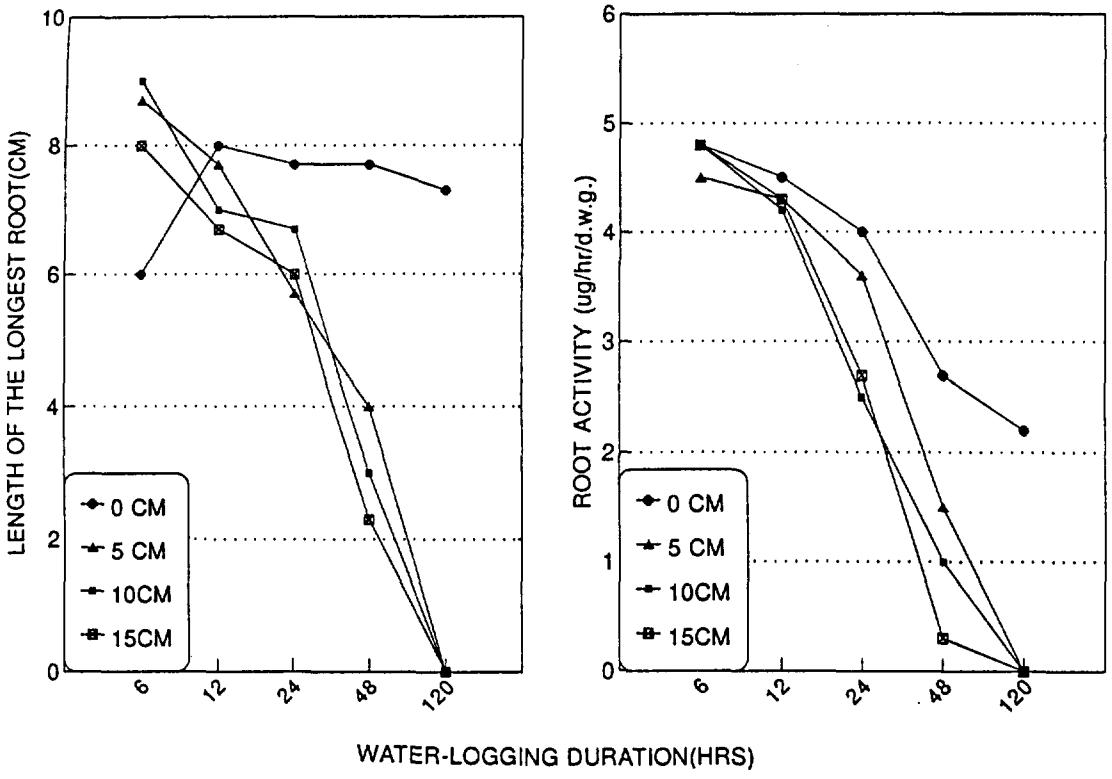

Fig. 2. Change in length of the longest root (cm) and root activity (ug/hr/d.w.g.) of tomato seedlings as affected by different water-logging treatments through seedling stage.

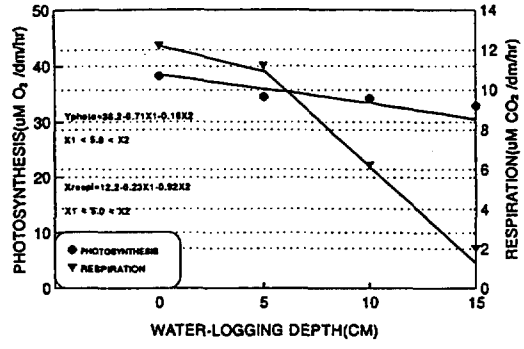

Fig. 3. Change in rates of photosynthesis and respiration of tomato by different water-logging treatments through seedling stage.

깊이를 변환점으로 하여 현저한 호흡량 감소가 야기되는 현상을 볼 수 있었다. 그러나 광합성량은 침수깊이에 따라 직선적으로 감소하는 경향이었는데, 이는 실험재료가 경엽생장이 작은 유묘이었기 때문에 지상부의 침수 정도가 상대적으로 컸으며, 따라서 침수체적비율에 비례하였던 것으로 생각된다. 물론 침수피해도 산소부족으로 인한 호흡저해보다는 토양중에 집적하는 독성물질에 기인하지만[28~30], 결과적으로는 건물생산을 억제시켜 생장피해를 유도한다[31].

이와 같은 광합성 반응은 지상부 경엽의 엽록소 함량 변화로도 확인할 수 있었던 바(그림 4), 침수

깊이를 달리 하여 침수 경과시간을 연장시킴으로써 6~24시간까지는 엽록소 함량이 완만한 감소 경향을 보였으나, 그 이상의 시간 경과에서는 현격한 엽록소 분해 소실 현상이 초래됨을 알 수 있었다.

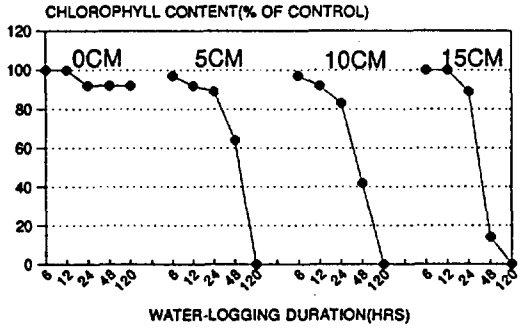

Fig. 4. Shift in chlorophyll content (% of control) of tomato seedlings as affected by different water-logging depth (cm) and duration (hrs.) through seedling stage.

位田[27,32]에 의하면, 토마토의 침수 반응, 즉 토양중 산소농도가 10% 이하로 떨어지면 산소농도 감소에 비례하여 생육량 감소가 초래되며, 외부적 증세로는 상편생장이 커지고 부정근이 줄기 상부로부터 유도되므로써 환경에 적응하고 생장회복을 하려는 반응을 보인다고 한다. 그러나 본 시험의 경우에는 유묘기의 어린 식물로서 일정한 침수 처리 이후부터는 적습조건에서 생장회복을 유도시켰기 때문에, 이와 같은 반응은 일시적으로 짧게 경과하였으며, 처리기간내에 이들 外證이 관찰되지는 않았다. 그러나 이들 처리식물을 생장회복과 동시에 수확기의 수량 특성을 조사한 결과(표 5), 개체당 총 과중은 침수처리가 깊어질수록, 그리고 시간이 길어질수록 완만하게 감소하였으며, 개체당 총과수도 이와 유사한 감소 경향을 보였으나 평균 과중은 처리 깊이가 깊어지거나 시간이 경과할수록 오히려 증대되는 경향이었다. 처리 깊이와 시간 간의 상호작용효과는 통계적으로 인정되지 않았다.

유묘기 토마토의 침수에 의한 스트레스 결과는 비록 생장회복이 이후에 이루어지더라도 화아분화까지 지속되므로써 개체당 과실수 확보가 미진하였으며, 따라서 생장회복에 따른 광합성의 회복으로 개체당 과실수에 역상관하에서 평균 과중증대가 되었을 것으로 생각된다.

이상에서 검토한 생장 및 수량 특성 상호간의 단순 상관계수 분석의 결과(표 6)에서도 대체로 유사

Table 5. Variation in yield traits of tomato as affected by different water-logging treatments through seedling stage.

Water-logging		No. of fruits	Average weight	Weight of fruit
Depth(Cm)	Duration(h)	per plant	of a fruit(g)	per plant(g)
Control		10.2 (100)*	77 (100)	786 (100)
0	6	9.2 (90)	77 (100)	711 (91)
	12	9.0 (88)	78 (101)	702 (89)
	24	9.0 (88)	72 (94)	648 (82)
	48	8.0 (78)	78 (101)	621 (79)
	120	8.5 (83)	64 (83)	540 (68)
5	6	8.0 (78)	89 (115)	711 (90)
	12	8.2 (80)	82 (107)	675 (86)
	24	7.0 (69)	90 (117)	630 (80)
	48	7.0 (69)	77 (100)	540 (68)
	120	0 (0)	0 (0)	0 (0)
10	6	10.0 (98)	66 (86)	657 (84)
	12	10.0 (98)	63 (82)	630 (80)
	24	8.7 (85)	67 (87)	576 (73)
	48	6.5 (64)	86 (112)	540 (69)
	120	0 (0)	0 (0)	0 (0)
15	6	7.2 (71)	75 (98)	540 (69)
	12	7.2 (71)	86 (111)	620 (79)
	24	6.5 (64)	92 (120)	583 (74)
	48	6.0 (59)	89 (116)	535 (68)
	120	0 (0)	0 (0)	0 (0)
LSD	5%	1.0 (10)	14 (19)	49 (6)
	1%	1.3 (13)	19 (26)	66 (9)
F-test				
Depth		** (**)	** (**)	** (**)
Duration		** (**)	NS (NS)	** (**)
Depth x Duration		** (**)	** (*)	** (**)

*Numbers in parenthesis are percent of control in each column.

Table 6. Correlation coefficients among growth, yielding traits and some anatomical and physiological traits of tomato plants as affected by seedling stage.

	PH	NL	CC	FWS	FWR	LR	RA	NF	AF	WF
Plant height(PH)		0.89**	0.75	0.85	0.76	0.83	0.76	0.78	−0.40	0.74
No.leaves/plant(NL)	0.89		0.92**	0.93**	0.86	0.86	0.81	0.64	−0.34	0.60
Chlorophyll content(CC)	0.75	0.92**		0.91	0.94**	0.87	0.90**	0.64	−0.30	0.60
Fresh weight(Shoot)(FWS)	0.85	0.93**	0.91**		0.83	0.88	0.88	0.65	−0.28	0.65
Fresh weight(Root)(FWR)	0.76	0.86	0.94**	0.83		0.85	0.82	0.70	−0.46	0.58
Length of the longest root(LR)	0.83	0.86	0.87	0.88	0.85		0.84	0.72	−0.40	0.64
Root activity (RA)	0.76	0.81	0.90**	0.88	0.82	0.84		0.66	−0.24	0.75
NO. fruits/plant(NF)	0.78	0.64	0.61	0.65	0.70	0.72	0.66		−0.72	0.67
Average weight of a fruit(AF)	−0.40	−0.34	−0.30	−0.28	−0.46	−0.40	−0.24	−0.72		0.01
Weight of fruit per plant(WF)	0.74	0.60	0.60	0.65	0.58	0.64	0.75	0.67	0.01	

Table 7. Change in visual rate of disease injury after appllication of fungicide (Benomyl) on tomato seedling as affected by different water-logging treatments through seedling stage.

Water-logging		5 DAT		13 DAT	
Depth(cm)	Duration(h)	No treatment	Treatment	No treatment	Treatment
Control		0	0		0
0	6	0	0	0	0
	12	0	0	0	0
	24	0	0	0	0
	48	0	0	1	0
	120	0	0	0	0
5	6	0	0	1	0
	12	0	0	1	0
	24	0.5	0	1	0
	48	1	0	1.5	1
	120	9	9	9	9
10	6	0	0	1	0
	12	0	0	1	0
	24	0.5	0	1	0
	48	1	0	2	0
	120	9	9	9	9
15	6	0	0	1	0
	12	0.3	0	1	0
	24	0.7	0	1	0
	48	1.5	0.3	2.5	0.5
	120	9	9	9	9

*Visual rate : 0 ; no disease 9 ; death, DAT : Days after treatment

한 해석을 할 수 있었다. 즉 모든 조사항목들 상호간에 고도로 유의성있는 정의 상관관계를 나타내었으나 평균과중만은 부의 상관경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 침수처리에 따른 영향의 지속으로 개체당 화방수가 감소하였던 반면에 오랜 시일 경과후의 생육회복에 따른 물질생산 및 전이현상의 정상화 때문인 것으로 보인다.

토마토에 흔히 발생하는 병으로는 역병, 모자이크병, 위조병, 반점병, 윤문병, 청고병, 연부병, 갈색근부병 등이 있고 생리장해에 기인된 병해도 있는 것으로 알려지고 있다[33,34]. 그러나 본 시험에서는 침수처리에 기인한 유묘생장기 환경 부적으로 유도된 모든 병해와 생리장해로 유도된 모든 병해를 분류 동정하지 않고 종합적으로 달관 평가하였으며, 또한 살균제 처리에 따른 종합효과를 달관 평가하였다(표 7). 살균제 처리는 종합적인 방제 가능성을 진단할 목적으로 이루어졌다.

결과적으로 침수에 따른 발병 증대는, 처리 이후의 환경개선에 의한 생육회복에도 불구하고 시간경과에 따라 증대되고 있었다. 또한 발병정도는 침수처리 깊이와 시간 증대에 비례하여 커지는 경향이 있었으며, 살균제처리에 따른 방제 가능성은 충분히 인정되었다. 다만 살균제 처리에 의하더라도 침수정도가 심한 곳에서는 발병이 불가피한 것으로 나타났으나, 이는 고사에 의한 자료상의 문제로서 고사개체를 제외한다면 약제처리로 병 예방 및 치료 효

과를 기대할 수 있을 것으로 보였다.

반면에, 침수처리 이후의 토마토 유묘의 생장 회복을 위하여 시비처리를 시도한 결과(표 8), 질소엽면시비에 의한 효과는 전반적으로 인정되지 않았다.

Table 8. Change in growth(% of control) at 20 days after fertilization of nitrogen on tomato seedlings affected by different water-logging treatments through seedling stage.

Water-logging		Plant height (cm)			No. of leaves per plant			Fresh weight					
								Shoot			Root		
Depth (cm)	Duration (h)	N.T.	T.	t-test	N.T.	T.	t-test	N.T.	T.	t-test	N.T.	T.	t-test
0	6	39	38	NS	6.0	6.1	NS	101	92	NS	100	91	NS
	12	38	38	NS	6.0	6.2	NS	98	92	NS	100	91	NS
	24	38	38	NS	6.0	6.0	NS	89	85	NS	102	88	NS
	48	36	37	NS	5.8	6.0	NS	86	86	NS	93	90	NS
	120	34	35	NS	5.9	6.0	NS	76	77	NS	83	76	NS
5	6	34	35	NS	5.7	6.0	NS	91	94	NS	108	88	NS
	12	30	38	**	5.7	6.1	NS	87	85	NS	93	61	NS
	24	25	23	NS	5.8	6.0	NS	71	72	NS	91	91	NS
	48	15	16	NS	4.0	4.2	NS	8	16	NS	17	18	NS
	120	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS
10	6	31	31	NS	5.5	5.9	NS	102	100	NS	97	104	NS
	12	32	31	NS	5.5	5.5	NS	89	96	NS	96	101	NS
	24	28	30	NS	5.5	5.7	NS	86	85	NS	93	88	NS
	48	18	10	**	4.0	4.5	NS	18	23	NS	21	21	NS
	120	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS
15	6	29	30	NS	5.7	5.9	NS	99	99	NS	93	88	NS
	12	26	29	NS	5.5	6.0	NS	88	93	NS	86	79	NS
	24	26	27	NS	5.3	5.0	NS	88	85	NS	76	67	NS
	48	15	15	NS	3.0	2.9	NS	10	19	NS	17	15	NS
	120	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS	–	–	NS

N.T. : No treatment T. : Treatment

침수가 되면, 토양용액이 희석되므로써 산도가 높아지고 산화환원전위차가 적어지며, 교질이중층이 파괴되면서 양분의 이온 강도나 흡착 및 재용출 기능이 교란된다고 한다[35]. 더우기 침수 직후에 미생물에 의하여 토양중산소는 소모되고 표층 일부에만 산소가 남을 뿐 토양중엔 질소, 탄산가스, methane 등이 축적되며[33,34], 이로 인하여 식물체는 물질동화와 호흡은 물론 혐기성박테리아에 의한 암모니아화작용, 질산화작용, methane 형성이 뒤따르게 되어 생리적 문제를 일으키게 된다고 한다[36].

흔히, 토양수분이 부족하게 되면, 토마토의 경우, 적습조건과 비교하여 체내 질소함량이 많아지는 반면 칼리는 감소하는 것으로 알려져 있다[10]. 본 시험에서와 같이 토양수분이 과다하게 되면 이와 반대의 경우가 유도될 것으로 판단하기 쉬우나 결과적으로는 과습이상의 침수처리하에서 토양미생물의 번식이 제한되고, 토양중 산화 환원 균형 파괴에 따른 양분형태의 변화가 야기되어 식물의 양분흡수는 제한될 수 밖에 없다. 따라서 엽면시비를 수확기까지 계속하여 생장회복을 유도한다면 어느 정도 시비효과를 기대할 수 있겠지만, 단기간의 회복정도로서는 시비효과를 기대하기 어려울 것으로 보인다.

이상에서 검토한 유묘기 토마토의 침수반응들을 종합하여 정리하면, 포화에 가까운 0 cm의 경우 12시간 이내 침수로 침수후 13일 이내에 초장 및 엽수회복이 가능하지만, 그 이상의 침수 깊이에서는 6시간 이내 침수로 관리해야만 회복이 가능하였다. 더욱이 지상부 및 지하부 생체중으로 보아 침수 깊이에 관계없이 24시간 이내에 침수제어관리가 되지 못할 경우에는 지하부 생장의 제약이 불가피한 것으로 나타났다. 이와 유사한 결과는 침수 정도(깊이 및 시간)에 따른 광합성 억제 보다는 호흡증대에 의한 생리적 손실이 컸던 점으로도 확인이 되었다. 뿐만 아니라 지하부 생장의 억제로 근신장력의 감퇴보다는 근활력의 감퇴에서 보다 예민한 반응을 보였으며, 침수에 따른 간접적 피해의 하나로서 침수심이 깊고 일자 경과가 진전될수록 발병률이 컸으며, 살균제처리에 의하여 방제 가능성은 충분히 있는 것으로 판단되었다. 또한 침수피해를 경감시키기 위한 요소 엽면처리의 효과는, 초장이나 지상부 생체중에서 나타나지 않았던 반면, 개체당 엽수나 지하부 생장에서는 다소 나타났다. 반면에 수량면에서는 5 cm 이상으로 침수깊이가 깊어짐에 따라 침수시간에 관계없이 개체당 과실수나 과실중이 감소하였으나, 개체당 과중은 침수에 의하여 오히려 커지는 경향으로 나타났다.

摘 要

침수의 깊이와 시간에 따른 토마토의 생육단계별 생육저해정도와 수량 감소 및 이와 관련된 이병성, 시비효과, 형태적 특성 및 생리적 변화 등의 차이를 비교 검토하여 침수피해에 따른 피해정도의 예측에 기초자료로 활용하기 위하여 온실조건에서 발아기, 유묘기별로 각각 침수깊이를 지면위 0, 5, 10, 15 cm의 4개 처리에, 각각 시간을 6, 12, 24, 48, 120시간으로 처리하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 發芽期 浸水 反應

0~5 cm 침수에서 48시간, 10~15 cm 침수에서는 25~27시간을 기점으로 현저한 발아제한이 이루어졌다. 초장은 침수깊이에 관계없이 24시간 이내까지 회복이 가능했고, 엽수는 침수깊이가 증대됨에 따라 회복 가능한 시간의 한계가 짧아졌다. 생체중의 감소는 지하부보다 지상부에서 민감한 반응을 보이고, 침수경과 24이내에서 회복이 가능하였다.

침수처리별 발아율과 초장, 엽수, 지상 및 지하부 생체중간의 모든 형질간에 고도의 유의적 상관 관계가 있었다.

2. 幼苗期 浸水 反應

초장은 0 cm 깊이에서는 24시간 처리수준까지 초장회복이 되었고, 그 이상 깊이에서는 시간과 관계없이 유의적인 감소가 되었으며, 엽수에서는 0 cm에서는 120시간까지도 회복되었고, 5 cm에서는 24시간까지 회복이 가능하였으나, 그 이상 깊이에서는 6시간 이상처리에서 유의적인 감소가 있었다. 지상 및 지하부 생장량은 초장 및 엽수에서와 같은 경향을 보였다. 최장근신장이 0 cm 침수에서는 대조구의 80% 정도로 유지될 수 있었지만 5 cm이상 깊이에서는 120시간 침수로 근신장이 불가능 하였다.

근활력은 0 cm이상의 침수로 현저히 감퇴되었고, 호흡량은 5 cm 깊이를 변환점으로 하여 현저한 감소가 야기되었다. 그러나 광합성량은 침수깊이에 따라 직선적으로 감소하였다. 엽록소 함량은 침수깊이를 달리하여 48시간까지는 완만한 감소를 보였으나, 120시간에서는 현저한 엽록소 분해가 초래되었다.

발병은 침수처리 깊이와 시간 증대에 비례하여 커지는 경향이었고, 살균제 처리에 따른 방제의 가능성은 있었으나, 질소엽면시비 효과는 없었다.

개체당 총과중과 총과수는 침수깊이와 시간이 길어 질수록 완만하게 감소하였고, 평균 과중은 증대되었으며, 침수깊이와 시간간의 통계적인 상호작용 효과는 없었다.

생장 및 수량 특성 모든 조사항목들 상호간에 고도의 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었다.

參考文獻

1. Kuo C. G., J. S. Tsay, B. W. Chen, and P. Y. Lin. 1982. Screening for flooding tolerance in the genus *Lycopersicon*. HortSci. **17** : 76～78.
2. Kuo, C. G. and B. W. Chen. 1980. Physiological responses of tomato cultivars to flooding. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **105** : 751～755.
3. Lopez, M. V. and D. A, del Rosario. 1983. Performance of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*(L) Karsten) under waterlogged condition. Philipp. J. Crop Sci. **8** : 75～80.
4. Aloni, B. and G. Rosenshtein. 1982. Effect of flooding on tomato cultivars : The relationship between proline accumulation and other morphological and physiological changes. Physiol. Plant **56** : 513～517.
5. Stoffela, P. J. 1983. Root morphological characteristics of field-grown tomatoes. HortSci. **18** : 70～72.
6. Jackson, W. T. 1955. The role of adventitious roots in recovery of shoots following flooding of the original root system. Amer. J. Bot. **42** : 816～819.
7. Kramer, P. J. 1951. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. Plant Physiol. **26** : 722～736.
8. 環境廳. 1983. 環境 汚染 公定 試驗法. p. 50～51.
9. 堀裕, 杉山直儀. 1953. 蔬菜類種子の發芽に及ぼす酸素及び炭素カス濃度の影響. 園學雜. **22** : 72～80.
10. 齊藤 隆. 1983 : 農業技術大系, 野菜編 2 .トマト. 農漁文協.
11. Schaffer, B. and R. C. Ploetz. 1989. Net gas exchange as a damage indication for *Phytophthora* root rot of flooded and nonflooded avocado. HortSci. 24 653～655.
12. Schaffer, B. and R. Ploetz. 1987. Effects of Phytophthora root rot and flooding on net gas exchange of potted avocado seedlings. HortSci. **22** : 1141～1141 (Abstr.)
13. Singh, B. P., K. A. Tucker, J. D. Sutton, and H. L. Bhardmaj. 1991. Flooding reduces gas exchange and growth in snap bean. HortSci. **26** : 372～373.
14. 松原茂樹, 石黑迅, 岡迫義孝. 1939. 蔬菜類の根の發育に關する研究. 農及園. **14** : 615～620.
15. 高橋和彦. 1960. 溫床床土に關する研究(第2報). 床土の土壤水分が "トマト苗の生育に及ぼ"す影響. 園學雜 **29** : 313～321.
16. Armstrong. W. 1979. Aeration in higher plants. Adv. Bot. Res. **7** : 226～332.
17. Bradford, K. J. and S. F. Yang. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. HortSci. **16** : 25～30.
18. Ahn, J. K., W. W. Collins, and D. M. Pharr. 1980. Influence of preharvest temperature and flooding on sweet potato root in storage. HortSci. **15** : 261～263.
19. Collins, W. W. and L. G. Wilson. 1988. Reaction of sweet potatoes to flooding. Hort Sci. **23** : 1079～1079.
20. Turner, F. T., Chen, C. C., and Mccanley, G. N. 1981. Morphological development of rice seedling in water at controlled oxygen levels. Agron. J. **73** : 566～570.
21. Williamson, R. E. 1968. Influence of gas mixtures on cell division and root elongation of broad bean, *Vicia faba* L. Agron. J. **60** : 317～321.
22. Lopez-Saez, J. F., Gonzalez-Bernaldez, F., Gonzalez-Fernadez, A, and Garcia-Ferrero, G. 1969. Effect of temperature and oxygen tension on root growth, cell cycle and cell elongation. Protoplasma **67** : 213～221.

23. Massei, M. and I. Valio. 1983. The influence of growth regulations on adventitious root initiation on stems of tomato plants. Z. Pflangenphysiol. **112** : 403~410.
24. Yang, S. F. and N. E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. **35** : 155~189.
25. Yu, P. T., Stolzy, L. H., and Letey, J. 1969. Survival of plants under prolonged flooded conditions. Agron. J. **61** : 844~847.
26. Russell, E. W. 1973 Soil coditions and plant growth. 10th Ed. Longman, London.
27. 位田藤久太郎. 1956 : 土壤通氣の酸素濃度が果菜類の生育, 養水吸收に及ぼす影響. 園學雜 **25** : 85~93.
28. Cho, D. Y. and F. N. Ponnamperuma. 1971. Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. Soil Sci. **112** : 184~194. 12. Bradford, K. J. and S. F. Yang. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. Hort. Sci. **16** : 25~30.
29. Ford, H. W. 1965. Bacterial metabolites that affect citrus root survival in soil subject to flooding. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **86** : 205~212.
30. Greenwood, D. J. 1967. Studies on the transport of oxygen through the stems and roots of vegetable seedlings. New Phytol. **66** : 337~347.
31. Abbott, J. D. and R. E. Gough. 1987. Reproductive response of the highbush blueberry to root-zone flooding. HortSci. **22** : 40~42.
32. 位田藤久太郎, 小川幸持, 新井和夫. 1957. 水耕栽培における通氣が蔬菜類の生育竝び"に養分吸收に及ぼす影響について. 園學雜 **26** : 171~177.
33. Crawford, R. M. M. 1982. Physiological responses to flooding. Encyc. Plant Physiol. New Ser. **12** : 453~447.
34. Kozlowski, T. T. 1984. Responses of woody plants to flooding. p 129~163. in T. T. Kozlowski (ed.) Flooding and plant growth. Academic. Press
35. Ponnamperuma, F. N. 1977. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. IRRI Res. Poper Ser. No. 5.
36. Stewart, W. D. P., Rowell, P., Ladha, J. K., and Sampaio, M. J. A. M. 1979. Blue-green algae (cyanobacteria) : some aspects related to their role as sources of fixed nitrogen in paddy soil. 263~285 IRRI.