한국환경농학회지 제16권 제2호(1997)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 16, No. 2, pp. 130~135

토마토(*Lycopersicon esculentum*)의 개화기 침수 처리에 따른 생육 반응†

구자옥 · 한성욱 · 국용인 · 천상욱 · 이영만
전남대학교 농과대학

Effects of Depth and Duration of Flooding on Growth and Yield at Flowering Stage in Tomato(*Lycopersicon esculentum*).

Ja-Ock Guh, Sung-Uk Han, Yong-In Kuk, Sang-Uk Chon and Young-Man Lee(*College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju, 500-757*)

Abstract : Tomatoes are flooded differently 0, 5, 10 and 15cm, according to the developing stages such as flowering 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.

Plant height decreased in the depth of 0~10 cm for over 48 hours, in the depth of 15 cm for over 24 hours. Number of leaves was the same as in control, and it decreased over. Number of flowers and fruit setting of individuals decreased conspicuously according as the depth and the hours got greater and longer.

Adventitious root occurred remarkably in the depth of 0~10 cm, for over 24 hours and in the depth of 15 cm, 12 hours. Epinastic curvature increased greatly as the depth and the hours got greater and longer.

Diffusion resistance of stomata cell increased as the depth and the hours got greater and longer.

Diseases occurred conspicuously as the hours of flooding got longer rather than as the depth greater. The preventing of diseases caused by insecticide was observed,but it was not greater than in the seedling and transplanting stage. Fertilization was effective in the case of increasing the weight of shoot.

Number of fruits per plant did not decrease in the depth of 0 cm up to 24 hours, but decreased on the deeper level of flooding and increased as the hours got longer. Moreover with the exception of 120 hours per respective depth of the treatment, average weight of a fruit got greater as the depth and the hours got greater and longer.

In the case of epinastic curvature and diffusion resistance, there was negative correlation between all the other investigated characters and positive correlation between weight of a fruits and average weight of a fruit.

Key words : Tomato, flooding, Epinastic

緖 言

작물의 침수 피해는 침수가 작물의 어느 생육 단계에서 일어났는가, 또한 어느 계절에 일어났는가에 따라 그 정도가 달라지며[1~3], 또한 침수 시간에 따라서도 다르다.

Kuo 등[4]은 토마토 20개 품종의 3일간의 침수 처리에서 줄기 생장, 잎내 엽록소 함량의 감소가 일어나며, 잎의 상편생장과 부정근의 발생이 촉진 되었음을 보고하였다. 또한 침수에 가장 저항성을 나타낸 품종에서 프로린의 축적이 일어났는데 이것은 토양내 산소 결핍의 정도를 나타낸다고 하였다. Bradford 등[5]은 토마토에 침수 처리를 하였을 때 뿌리 기공 기능이 영향을 받았다고 하였다. Lakitan 등[6]은 까지 강낭콩으로 침수 시간을 달리하는 실험을 실시하여 처리 종료 7일 후의 식물체의 회복 양상을 조사한 결과, 침수 처리 시간이 길어짐에 따라 잎의 보수력, 기공 통기도, 증산, 순동화량은 2차 곡선식으로 감소함을 보여 주었다. 그는 또한 광합성은 1일 침수시 무처리에 비하여 17%가 낮았졌으며, 7일 침수에서는 광합성이 거의 이루어지지 않았고, 침수 시간이 길어지면 기공의 통기도와 같이 직선적으로 감소하였음을 보고하였다. 전체적으로 보아 1일 침수에서도 광합성이 감소하고, 건물중 또한 감소하였으며, 침수 시간이 길어짐에 따라 이들의 감소 경향도 같았다고 하였다.

본 연구에서는 침수 피해가 잘 나타나는 토마토에서 생육 단계별로 침수의 깊이와 시간에 따른 생육 저해 정도와 수량 감소 등의 차이를 비교 검토하여 침수 피해에 따른 피해 정도의 예측에 기초 자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

† 본 연구는 농촌진흥청 연구비 지원에 의하여 수행한 연구의 일부임.

材料 및 方法

식물재료 및 시험조건과 방법은 前報[7]와 동일하였다. 개화기 침수처리는 개화직전으로 본엽이 9~10매, 초장이 70~80cm이고 수확기는 착과가 4~5개가 되었을 때 처리하였다.

結果 및 考察

배수조건이 양호한 토양은 각종 가스 및 O_2농도가 대기와 평형을 유지한다고 한다. 어떤 이유로든 토양중에 O_2가 결핍되면 즉시 식물의 대사와 생리변화가 일어나 양분흡수 감소, 기공폐쇄, 광합성 퇴조, 근활력 퇴조, 호르몬 불균형이 나타나고 상편생장과 잎의 황화 및 낙엽이 일어나 생장과 생식이 어려워지게 된다고 한다[8].

개화 결실기의 토마토에 침수깊이와 침수시간을 달리 하여 처리한 결과(표 1), 식물체의 초장에서는 무처리와 비교하여 큰 차이로 감소하지는 않았다. 0~10cm 깊이에서도 48시간 이상의 침수에서만, 그리고 15cm 깊이에서는 24시간 이상의 침수에서만 초장의 생장이 유의적으로 억제되었다.

Table 1. Variation in growth traits(% of control) of tomato as affected by different flooding treatments at flowering stage.

Flooding		Plant heigt(cm)	No. of leaves per plant	Fresh weight (g/plant)	
Depth(cm)	Duration(h)			Shoot	Root
Control		100	100	100	100
0	6	99	96	99	100
	12	98	94	99	96
	24	96	84	83	92
	48	97	85	79	91
	120	83	75	63	71
5	6	99	100	99	93
	12	98	84	91	96
	24	96	82	77	72
	48	94	74	66	62
	120	70	63	61	31
10	6	99	100	97	83
	12	97	85	90	82
	24	93	67	83	79
	48	94	65	69	70
	120	70	57	59	38
15	6	100	100	94	88
	12	97	79	93	98
	24	91	63	73	65
	48	83	63	50	50
	120	58	44	47	31
LSD	5%	6	8	8	10
	1%	8	10	11	13
F-test Depth		**	**	**	**
Duration		**	**	**	**
Depth×Duration		**	**	**	**

그러나 개체당 엽수에서는 0cm 깊이에서 12시간까지, 그리고 5cm 이상 깊이에서 6시간까지만 무처리와 대등한 정도를 유지할 수 있었고, 그 이상 시간에서는 유의적인 감소가 있었다. 이와 같은 현상은 토양통기의 악화로 뿌리기능 감퇴와 엽록소 함량 감소 및 광합성 감퇴로 기인한 신생엽 분화의 미흡과 낙엽 등으로 이어진 결과라 할 수 있다[8,9]. 특히 산소가 제약되면, 혐기성 호흡 제한때문보다도 유사분열 제한이 되기 때문에 엽수 분화가 억제된다고 한다[10,11]. 마찬가지로 지상부 생체중의 변화는 0cm에서 12시간까지, 그리고 그 이상 깊이에서는 6~12시간까지 무처리와 대등한 정도를 유지할 수 있었으나, 뿌리의 생체중은 0cm에서 48시간까지, 5cm에서 12시간까지 무처리 대비하여 비등한 정도였으며, 10~15cm에서는 6시간 처리에서도 통계적 유의차가 인정될 정도로 예민하게 감소하는 경향이었다.

Turner 등[12]은 뿌리신장을 위한 산소 한계농도를 대기중의 절반 정도라 하였지만 位田[13]에 의하면 토양통기 10%를 전후하여 토마토의 생육 증가율은 최대에 이르며, 이보다 토양통기율이 높거나 낮아지면 오히려 생육량이 감소함은 물론 이상생장이 증대하여 고사케 된다고 한다.

결과적으로, 개화기의 침수으로 이미 확보된 초장의 경우 감소는 크지 않지만 개체당 엽수는 낙엽에 의하여 민감하게 감소함으로써 토마토의 발육을 확보하기 위해서는, 침수 깊이에 관계없이 최단시간내의 배수가 요구되는 경향이었다. 또한 개화기의 침수는 뿌리보다도 경엽중의 감소가 먼저 나타나서 0cm를 제외한 침수는 가급적 6시간 이내에 배수하여야 하며, 10cm 이상 깊이의 침수에서도 뿌리 건물중 감소를 막기 위한 최단시간내의 배수가 요구되었다.

경엽중이 예민하게 감소하는 것은 산소부족에 의한 cytokinin 공급부족에 기인하는 것으로 알려져 있다[14]. Stanley 등[15]은 일시적 침수가 생육단계별로 상이한 피해를 초래하는데, 개화후부터 착과기까지에는 수중에서도 뿌리신장이 계속되지만 곧 부패하고 상위에서 신근형성을 한다고 밝힘으로써 부정근 발현의 가능성을 제시한 바 있다.

침수처리로 인한 개화결실기 토마토에서의 부정근 발생을 조사한 결과(표 2), 0~10cm 깊이에서는 24시간 이상의 시간 경과로, 그리고 15cm 깊이에서는 12시간 이상의 시간 경과로

Table 2. Visual rate of advetitious root formation of tomato as affected by different depths and durations of flooding at flowering stage.

Flooding depth(cm)	Duration(hr)				
	6	12	24	48	120
0	0.3	0.7	1.1	2.9	4.0
5	0.7	0.9	1.5	3.6	5.0
10	0.6	0.7	1.1	3.0	3.3
15	0.7	3.2	3.5	3.7	3.9

LSD 5%=0.8 1%=1.1

*Visual rate(0~5) : 0 : no formation

부정근 발생이 본격화하는 경향이었다.

토양통기 부족으로 인한 부정근 발생 증가는 곧 뿌리활력의 감소나 생육 감소뿐만아니라, 상편생장에 의한 체내 호르몬 분비의 불균형을 초래하며, 이로 인한 개화 결실 및 발육상의 문제도 초래할 수 있음을 암시하는 것으로 해석되고 있다[16~18].

Kozlowski[9]는 부정근이 7일 정도 기능적으로 생존하며, 산소가 공급되는 조건이 되면 정상생육을 할 수 있다고 하였다. 또한 Reid 등[19,20]은 토마토에서의 부정근 출현으로 부분적 생육회복이 가능하였으며, 그 근거는 GA 농도 증대를 유도하는 데 있었다고 하였으며, 유사한 사례를 Kramer[21], Kuo 등[4]도 보고한 바 있다. 이러한 과정을 거쳐 토마토의 엽병(葉柄) 부분에서 상편생장이 유도되는데[21,23], 이 또한 가스교환 불균형에서 오는 팽압조절을 위한 생존반응 결과라 한다.

실제로 본 시험의 경우, 침수처리로 인한 상편생장 정도(그림 1)는 침수 깊이가 깊을수록, 그리고 시간이 길어질수록 급격히 증대하는 경향을 보이고 있다. 이에 대하여 Jackson 등[23]은 상편생장이 ethylene에 의하여 유도되는데 비교적민감하게 나타나며, 정도에 따라서는 낙엽을 수반하는 組織離層 조건을 일으켜 cytokinin 공급에도 영향을 미친다고 한다[24].

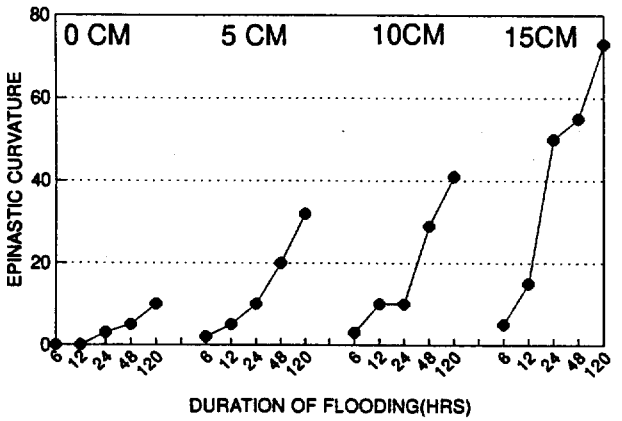

Fig. 1. Change in epinastic curvature(degree of angle) of tomato as affected by different flooding treatments at flowering stage.

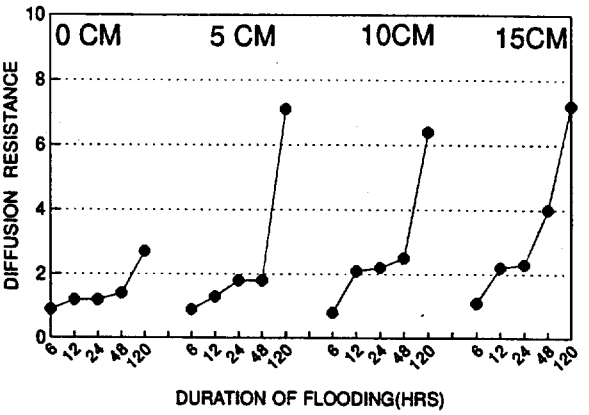

Fig. 2. Change in diffusion resistance(sec/cm) of tomato as affected by different flooding treatments at flowering stage.

침수 처리되었던 토마토 경엽의 기공확산저항성(그림 2)도 경엽의 상편생장에서와 거의 유사한 경향으로 증대되어, 침수깊이가 깊고 시간이 경과될수록 광합성이 저하되고 개화결실기의 뿌리활력저하에 따른 양 수분 흡수력의 감퇴, 특히 질소분의 흡수저해는 토마토의 생육부족은 물론 착화수를 감소시키고, 이런 결과로 비록 결실률과 발육률은 향상되더라도 C/N률의 증대로 인한 개체당 수량의 감소는 불가피할 것으로 보인다. 이와 유사한 실험결과는 Howlett[17]가 보고한 바 있다. 마찬가지로 개화결실기의 광합성 저하로 인한 탄수화물 동화량이 감소되면, 화아분화는 증대하지만, 결실률이 떨어지고, C/N률을 높이는 생리불균형이 초래될 것이다.

본 시험의 경우, 침수처리 영향에 따른 개화 결실기 토마토의 개체당 개화수와 결실수를 조사하였다(그림 3, 그림 4). 즉 침수처리된 토마토의 개체당 개화수나 착과수는 Howlett[17]의 실험에서와 달리, 침수 깊이가 깊어지고 시간이 길어질수록 일률적으로 현저한 감소현상을 나타내었다.

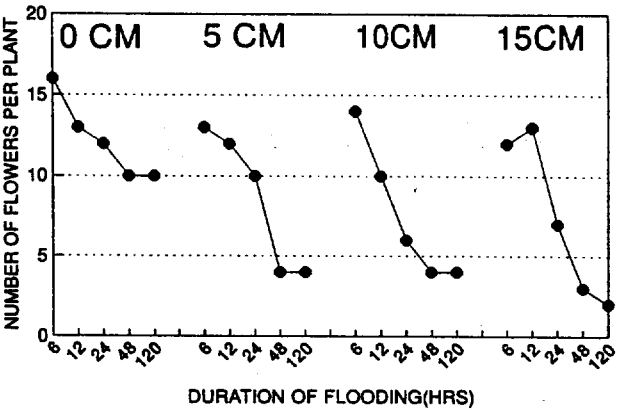

Fig. 3. Number of flowers of tomato as affected by different flooding treatments through flowering stage.

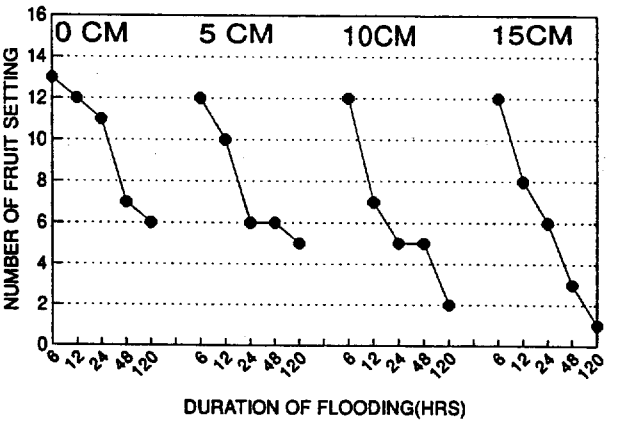

Fig. 4. Number of fruit setting of tomato as affected by different flooding treatments at flowering stage.

Table 3. Variation in yielding traits(% of control) of tomato as affected by different flooding treatments at flowering stage.

Flooding		No. of fruits per plant(g)	Average weight of a fruit(g)	Weight of fruit per plant(g)
Depth(cm)	Duration(h)			
Control		100	100	100
0	6	100	97	97
	12	100	91	90
	24	100	89	88
	48	77	106	81
	120	77	98	76
5	6	86	113	96
	12	86	111	96
	24	64	126	79
	48	68	99	67
	120	21	18	4
10	6	64	152	96
	12	75	115	85
	24	73	113	79
	48	68	115	78
	120	45	25	11
15	6	77	129	98
	12	64	152	96
	24	64	133	84
	48	64	116	73
	120	45	24	11
LSD	5%	5	9	4
	1%	7	12	5
F-test				
Depth		**	**	**
Duration		**	**	**
Depth×Duration		**	**	**

이와 같은 결론은 Howlett[17]의 경우와 달리 본 시험은 토양수분의 적부에 기인한 식물체내 C/N률 변화의 결과로 인한 것이 아니고, 토양면과 식물체 경엽부의 일정 부위까지 침수상태로 하여 일정한 시간을 경과한 처리였기 때문에, 식물체의 총체적인 생육 억제가 유발되는 반응결과로 생각된다. 따라서 C/N률 변화에 기인된 생리반응보다는 생종조건의 한계상황에 대한 반응으로 판단해야 할 것다. 또한 처리후 정상조건으로 하여 생장회복을 시도하였지만, 이미 개화결실기의 처리였기 때문에 발육단계로 보아 회복 가능성이 희박한 것으로 판단된다.

결과적으로 개화 결실기때 토마토의 침수처리 정도에 따른 수량특성(표 3)을 보면, 개체당 총과실수는 0cm 깊이에서 24시간까지 무처리 대비 유의적인 감소가 없었으나, 그 이상의 깊이에서는 유의적 감소가 인정되었으며, 처리시간이 길어질수록 감소폭이 커지는 경향이었다. 비록 침수처리로 인하여 낙뢰 및 낙화수가 증가하더라도 앞의 개화수나 착과수의 반응과 비교하면 낙뢰 낙화 낙과 현상이 심하지 않아서 급격하게 감소하지는 않았던 것으로 판단된다.

더욱이, 평균과중은 각 침수 깊이의 최장시간 경과처리인 120시간 처리를 제외한다면, 오히려 침수깊이가 깊어지고, 시간이 길어질수록 충실해지는 경향을 나타내었다.

앞에서 분석하였던 제반 조사형질들 상호간의 관계를 단순상관계수로 정리해 보면 표 4에 나타낸 바와 같다. 조사형질들 가운데 침수피해의 정도를 나타내는 지표로서 상편생장도와 기공확산저항성 정도는 다른 모든 생장요소들과 부의 상관관계를 나타내었으며, 생장요소로서의 형질들 상호간에는 정의 상관관계를 나타내었다. 특히 수량특성을 나타내는 개체당 총 과중과 총 과수 및 평균 과중 상호간에도 정의 상관관계를 보이는 것으로 분석이 되었다. 앞의 표 3에 의하면, 수량특성형질 가운데 평균과중은 개체당 총 과수나 총 과중과 부의 관계를 나타내는 것으로 해석되었으나, 본 분석에서는 각 침수깊이의 120시간 처리가 삽입되어 지대한 영향을 미치므로써 정의 상관을 갖는 것으로 분석이 되었다.

침수처리에 따른 발병은 지속적으로 증대되는 경향이었으며, 침수 깊이보다는 시간 경과에 따라 증대폭이 커지는 경향이었다(표 5). 또한 살균제 처리에 의한 예방 및 치료효과도 인정은 되었으나, 유묘기 및 이식기의 토마토에 대한 효과보다는 다소 떨어지는 경향이었다.

그러나 주요 병원의 동정에 따른 약제처리가 뒤따른다면 충분한 방제효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되었다.

Table 4. Correlation coefficients among growth, yielding traits and some anatomical and physiological traits of tomato as affected by flooding at flowering stage.

	PH	NL	FWS	FWR	EC	DR	NF	NS	NFR	AF	WF
Plant height(PH)		0.82	0.83	0.90**	−0.80	−0.97**	0.73	0.79	0.76	0.83	0.94**
NO. leaves/plant(NL)	0.82		0.89	0.83	−0.88	−0.83	0.89	0.94**	0.69	0.57	0.76
Fresh weight(Shoot)(FWS)	0.83	0.89		0.90**	−0.83	−0.80	0.89	0.90**	0.66	0.58	0.77
Fresh weight(Root)(FWR)	0.90**	0.83	0.90**		−0.84	−0.91**	0.88	0.85	0.84	0.69	0.91**
Epinastic curvature(EC)	−0.80	−0.88	−0.83	−0.84		0.79	−0.81	−0.82	−0.69	−0.46	−0.69
Diffusion resistance(DR)	−0.97**	−0.83	−0.80	−0.91	0.79		0.77	−0.81	−0.84	−0.81	−0.96**
NO.flowers/plant(NF)	0.73	0.89	0.89	0.88	−0.81	−0.77		0.90	0.72	0.55	0.76
NO.fruit setting/plant(NS)	0.79	0.94	0.90	0.85	−0.82	−0.81	0.90		0.71	0.51	0.76
NO.fruits/plant(NFR)	0.76	0.69	0.66	0.84	−0.69	−0.84	0.72	0.71		0.51	0.81
Average weight(Fruit)(AF)	0.83	0.57	0.68	0.69	−0.46	−0.81	0.55	0.51	0.51		0.89
Weight fruit/plant(WF)	0.94**	0.76	0.77	0.91**	−0.69	−0.96**	0.76	0.76	0.81	0.89	

Table 5. Visual rate of disease injury of tomato in fungicide treatment as affected by different depths and durations of flooding at flowering stage.

Flooding		3 DAT		7 DAT		14 DAT	
Depth(cm)	Duration(h)	N.T.[1)]	T.	N.T.	T.	N.T.	T.
Control		0	0	1	0	1	0
0	6	0	0	0.5	0	0	0
	12	0	0	0.5	0.5	0	0
	24	0	0	1	0	1	0
	48	0	0	0.5	0	1	0
	120	1	1	1	0	1.5	0
5	6	0	0	0	0	1	0
	12	0	0	0.3	0	1.5	0
	24	0	0	0.3	0	1.5	0
	48	2	2	2	0.8	2	1
	120	3	3	3	2.5	3	2
10	6	0	0	1	0	0	0
	12	0	0	1	0	1	0.3
	24	1	0	2	1	2	1.5
	48	2	1	2	0.5	2	2
	120	3	2	5	1.5	6	2
15	6	0	0	0.5	0	0	0
	12	0.5	0	0.5	0	1	0
	24	2	0	3	1.5	3	1
	48	5	2	5	3	5	4
	120	6	2	8	4	8	4

*Visual rate (0~9) : 0 no disease, 9 death

Table 6. Percent of control in fresh weight(% of control) of tomato at 15 days after nitrogen treatment as affected by different depths and durations of flooding at flowering stage.

Flooding		Shoot(g/plant)			Root(g/plant)		
Depth(cm)	Duration(h)	N.T.	T.	t-test	N.T.	T.	t-test
0	6	100	100	NS	94	91	NS
	12	95	96	NS	87	84	NS
	24	74	89	NS	82	85	NS
	48	82	80	NS	80	74	NS
	120	55	82	**	67	67	NS
5	6	90	100	**	100	94	NS
	12	85	94	**	93	94	NS
	24	72	93	**	78	83	NS
	48	63	84	**	53	64	NS
	120	57	63	**	27	55	**
10	6	90	97	*	89	88	NS
	12	84	87	*	87	91	NS
	24	67	85	**	85	78	NS
	48	65	75	**	76	55	NS
	120	26	47	**	27	44	**
15	6	90	94	**	94	95	NS
	12	87	87	NS	84	84	NS
	24	57	66	**	71	77	NS
	48	46	67	**	40	57	NS
	120	20	31	**	38	47	**

1) N.T. : No treatment T. : Treatment

또한 침수해로 인한 생육저조에서 정상 생육으로 회복시키기 위하여 요소엽면시비를 하였던 결과(표 6), 지상부 경엽중의 증대 효과가 인정되었다. 앞의 유묘기나 이식기의 토마토에서는 요소 엽면시비의 효과가 대체로 인정되지 않는 경향이었으나, 개화결실기의 토마토에서 생장회복에 반응차이를 보였던 것은 특이한 현상이다. 보다 정밀한 시험을 통하여 질소의 흡수 및 이용률 증대의 기작연구를 할 필요가 있으며, 이들 효과로 인한 수량특성의 향상에 대한 연구도 보다 깊이 연구할 필요가 있는 것으로 생각된다. 이 시기의 질소흡수율 증가는 토마토 발육에 가장 중요한 C/N률의 균형조절에 중요한 뜻을 갖기 때문이다.

摘 要

본 연구는 개화기의 토마토에 각각 침수깊이를 지면위 0, 5, 10, 15cm의 4개 처리에, 각각 시간을 6, 12, 24, 48, 120시간 조합 처리후 생육저해정도, 생리적 변화 및 수량감소 등을 비교 검토하였다.

초장은 0~10cm 깊이에서 48시간 이상 침수, 15cm 깊이에서 24시간이상 침수에서만 초장이 저하되었고, 엽수에서는 0cm 깊이에서 12시간까지, 그리고 5cm 이상 깊이에서 6시간까지만 무처리와 대등하였고, 그 이상에서는 감소하였다. 생체중의 변화는 0cm에서 12시간까지, 그리고 그 이상 깊이에서는 6~12시간까지, 뿌리의 생체중은 0cm에서 48시간까지, 5cm에서는 12시간까지 무처리와 비슷하였으며, 10~15cm에서는 6시간 처리에서도 감소하였다. 개체당 착화수와 결실수는 침수 길이가 길고 시간이 길수록 뚜렷이 감소하였다.

부정근 발생은 0~10cm 깊이에서는 24시간 이상, 15cm 깊이에서는 12시간 이상의 경과하면 부정근 발생이 많았다. 상편생장정도는 침수가 길이가 길고 시간이 길수록 급격히 증대하였다.

잎의 기공확산저항성은 침수가 깊고 시간이 경과될수록 증대되었다.

발병은 침수 시간경과에 따라 심하였고 살균제 처리에 의한 방제효과가 있었다. 요소엽면시비는 경엽중의 증대에 효과가 있었다.

개체당 총과실수는 0cm 깊이에서 24시간까지는 감소는 없었으나 그 이상의 깊이에서는 감소되었으며, 처리시간이 길어질수록 커졌다. 착화수가 줄었기 때문에 평균 과중은 각 침수깊이의 120시간 처리를 제외한다면 오히려 침수깊이가 깊어지고 침수시간이 길어질수록 커졌다.

상편 생장정도와 기공확산저항성 정도는 다른 모든 조사형질간에 부의 상관관계를 보이고 수량특성을 나타내는 개체당 총 과중과 총 과수 및 평균 과중 상호간에는 정의 상관관계를 보였다.

참고문헌

1. Abbott, J.D. and R.E. Gough. 1987. Reproductive response of the highbush blueberry to root-zone flooding. *Hort Sci.* 22 : 40~42.
2. Crane, J.H. and F.S. Davies. 1988. Flooding duration and seasonal effects on growth and development of young rabbiteye blueberry plant. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113 : 180~184.
3. Davies, F. S. and D. Wilcox. 1983. Flooding tolerance of rabbiteye blueberry in Florida. *Hort Sci.* 18 : 69~69 (Abstr.).
4. Kuo, C.G. and B.W. Chen. 1980. Physiological responses of tomato cultivars to flooding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 751~755.
5. Braford, K.J. and T.C. Hsiao. 1982. Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiol.* 70 : 1508~1513.
6. Lakitan, B. and D.W. Wolfe. 1988. Yield and growth suppressions in flooded snap bean(Phaseolus vulgaris L.) as related to plant age. *Hort Sci.* 23 : 143~144.
7. 具滋玉, 盧相彦, 鞠龍仁, 千相旭, 李榮萬, 吳潤鎭. 1996. 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)의 發芽期 및 幼苗期 浸水 處理에 따른 生育 反應. 韓環農誌. 15(4) : 425~433.
8. Kozlowski, T.T. 1984. Flooding and plant growth, AP.
9. Jackson, M.B. 1982. Ethylene as a growth promoting hormone under flooded conditioned. In "Plant Growth Substances : 291~301" A.P, New York.
10. Amoore, J.E. 1962. Oxygen tension and the rates of mitosis and interphase roots. *J. Cell. Biol.* 13 : 371~373.
11. Amoore, J.E. 1962. Participation of a non-respiratory ferrous complex during mitosis in roots. *J. Cell Biol.* 13 : 373~381.
12. 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.
13. 位田藤久太郎. 1956 : 土壤通氣の酸素濃度か "果菜類の生育, 養水吸收に及ほ"す影響. 園學雜 25 : 85~93.
14. Jackson, M.B. and Campbell, D.J. 1979. Effects of benzyladenine and GA on the responses of tomato plants to anaerobic root environments and to ethylene. *New Phytol.* 82 : 331~340.
15. Stanley, C.D., Kaspar, T.C. and Taylor, H.M. 1980. Soybean top and root response to temporary water-tables imposed at three different stages of growth. *Agron. J.* 72 : 341~346.
16. 高橋和彦. 1960. 溫床床土に關する研究(第2報). 床土の土壤水分か "トスト苗の生育に及ほ"す影響. 園學雜 29 : 313~321.
17. Howlett, F.S. 1939. The modification of flower structure by environment in varieties of Lycopersicom esculentum. *J. Agr. Res.* 58 : 79~117.
18. Salter, P.J. 1954. Watering tomatoes under glass. Univ. Nottingham *Dep. Hort. Res. Rep. for* 1954 : 13.
19. Reid, D.M., Crozier, A. 1971. Effects of waterlogging on GA content and growth of tomato plants. *J. Exp. Bot.* 22 : 39~48.
20. Reid, D.M., Crozier, A., and Harvey, B.M.R. 1969. The effects of flooding on the export of GA from the root to the shoot. *Planta* 89 : 376~379.
21. Kramer, P.J. 1951. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. *Plant Physiol.* 26 : 722~736.
22. Crocker, W., Zimmerman, P.W., and Hitchcock, A.E. 1932. Ethylene-induced epinasty of leaves and the relation of gravity to it. *Boyce Thompson Inst* 4 : 177~218.
23. Jackson, M.B. and Campbell, D.J. 1976. Waterlogging and petiole epinasty in tomato : the role of ethylene and low oxygen. *New Phytol.* 76 : 21~29.
24. Jackson M.B., K. Gales, and D.J. Campbell. 1978. Effect of waterlogged soil conditions on the production of ethylene and on water relationships in tomato plants. *J. Expt. Bot.* 29 : 183~193.