

細霧冷房装置利用による相対湿度の制御がトマト生体情報および収量品質に及ぼす影響

木野本真沙江・松本佳浩¹⁾・吉田 剛¹⁾

摘要: トマト栽培において、加湿の有無により相対湿度を変化させ、湿度が茎径日変化、葉厚日変化、蒸散流量、光合成速度の生体情報および生育、収量品質に及ぼす影響を検討した。加湿は細霧冷房装置を利用し、相対湿度が60~80%になるよう設定した。天窓開閉温度の設定は、加湿有・加湿無とも同一にした。

天窓開閉温度の設定を同一にした状態で、相対湿度のみを制御すると、加湿有は加湿無に比較して、ハウス内気温が低下した。

茎径、葉厚の日変化は、いずれも日中に収縮するが、収縮量は、加湿有が加湿無に比較して、小さくなった。蒸散流量は、気温の上昇とともに増加したが、加湿処理時間帯になると、加湿有が加湿無に比較して、小さくなった。光合成速度は、加湿有が、加湿無しに比較して、速くなった。

収量は、加湿有が、収穫果房数は減少したが、1果重が大きくなったため増加した。

キーワード: トマト、生体情報、細霧冷房、水ストレス

Effect of humidity on yield and the biological information of tomato plants in the greenhouse

Masae KINOMOTO, Yoshihiro MATSUMOTO and Tsuyoshi YOSHIDA

Summary: The effect of relative humidity on the daily changes in thickness of the stalk and leaf, the sap flow and the photosynthesis of tomato plants were studied. The mist cooling system was used to keep relative humidity high, 60 – 80%. The windows of the greenhouses were opened for ventilation and closed at the same temperature in both cases.

The temperature of the air in the greenhouse decreased with humidification in the daytime

The decrease in thickness of the stalks and leaves in the daytime was suppressed with humidification, while the sap flow rate decreased, and photosynthesis increased.

The yield was improved with humidification according to the increase of the unit weight of the fruits, although the number of harvest bunches decreased.

Key words: tomato, biological information, mist cooling, water stress

1) 現栃木県下都賀農業振興事務所,

I 緒言

これまで、施設栽培におけるハウス内環境は、気温を中心に制御されてきた。最近の環境制御装置は、気温に加え、相対湿度等による複合的な制御が可能である。相対湿度の制御は、加湿による病害（灰色かび病など）の懸念から、これまで制御の対象となりにくかったが、植物体への濡れが少ないノズルの開発により、制御可能な環境条件の1つになってきている（川島ら，2010）。

施設栽培における環境条件は、気温のみで制御している場合でも、季節、時間帯およびハウス形状により大きく異なる（岩崎・木村，1975；稲田ら，2011）。そのため、気温と相対湿度で複合的に制御した場合のハウス内環境は、より複雑になると考えられている。

トマトの施設栽培では、高温期に細霧冷房の利用で加湿される。この利用で、ハウス内温度の低下、1果重の増加が報告されている（大森・大島，2009；鈴木，2003）。しかし、外気の相対湿度が低い厳寒期を通じて、ハウス内の相対湿度を70%程度に保つ、湿度制御を行った事例はない。

また、気温、相対湿度を制御したトマト栽培で、可販果収量や果実品質以外に、光合成速度や茎径日変化など植物体の反応（以下、生体情報）は、未報告である。ハウス内の湿度環境がトマトの生体情報に及ぼす影響を明らかにすることは、複合環境制御を効果的に行う上で不可欠であると考えられる。そこで、本報では、トマト越冬長期どり全栽培期間において加湿処理を行い、生体情報、生育および収量品質に及ぼす影響を調査したので報告する。

II 材料および試験方法

1. ハウス加湿の有無がトマトの生体情報に及ぼす影響

試験は、栃木県農業試験場内の硬質フィルムハウスで実施した。播種は2009年7月21日、定植は8月28日、収穫は11月16日～2010年5月31日に実施した。供試材料は、トマト「麗容」を用い、台木を「ブロック」とした。栽培は、クリプトモス培地養液栽培で行い、培養液処方は栃木農試トマト改良処方2号（第1表）とし、

排水量が、給水量の2割になるようかけ流した。栽植様式は、株間23cm、条間200cmの2条振り分けとし、誘引線250cmのつるおろし栽培とした。試験規模および区制は、1区10株、2区制とした。

処理は、加湿有および加湿無とし、加湿有は目標相対湿度を70%程度とした。細霧冷房装置をプログラムデータロガー（CR-3000, Campbell社）に接続し、瞬間日射量0.2kw/m²の条件で、相対湿度60%以下で稼動し、80%になると停止する設定で1日中制御した。加湿は、9月24日～5月31日まで実施した。但し、灰色かび病の発生により、5月1日以降は、加湿終了時刻を15時とした。加湿無は、加湿を行なわない慣行栽培とした。

温度管理は、加湿有、加湿無ともに天窓開閉温度を午前23℃、午後20℃、夜温10℃とした。

生体情報は、茎径日変化、葉厚日変化、蒸散流量および光合成速度を調査した。茎径日変化は、接触式センサ（SD-5M, PhyTech社）で高さ150cmの茎を挟んで測定した。葉厚日変化は、接触式変位センサ（D5V, オムロン（株））で高さ150cmの小葉を挟むことで測定した。蒸散流量は、サブフローセンサ（SGB9-WS, Dynamax社）を用いて開花中の第13果房直下の茎で測定した。

各センサは、電圧で出力されるようにし、前述のロガーに接続してデータを記録した。

光合成速度は、光合成測定装置（LI6400-XT, Li-Cor社）で開花中の第9果房直下の葉先端付近の小葉を午前、午後に分けて測定した。測定時のチャンバー内条件は、葉温25℃、CO₂濃度400ppm、光量子束密度1200μmol/m²/sとした。なお、生体情報の調査は、処理による相対湿度の差が大きかった3月～5月に実施した。

2. 加湿の有無がトマトの生育、収量および品質に及ぼす影響

試験の栽培環境で、加湿の有無が果房開花日、果房収穫日、収量・品質に及ぼす影響を調査した。

果房開花日および果房収穫日は、各果房の第1果の開花日、収穫日を記録した。収量・品質調査は、栃木農試調査基準で行い、総収量、可販収量、可販果数および果形による品質別果数を調査した。

第1表 栃木農試トマト改良処方2号の成分組成

処方	EC dS/m	pH	多量要素 (me/liter)							微量元素 (ppm)					
			NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	SO ₄	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
改良処方2号	1.4	6.5	10.0	0.6	2.7	7.0	4.5	1.7	1.7	2.6	0.9	1.3	0.05	0.03	0.12

Ⅲ 結果および考察

1. 加湿の有無がトマトの生体情報に及ぼす影響

加湿によるハウス内相対湿度の変化を第1・2図に示した。厳寒期（概ね日最高気温 10℃以下）は、換気が行われる時間帯は、正午付近に限られた。そのため、加湿無で日中の相対湿度が 60%以下になる時間帯は、正午付近に限られ、処理による相対湿度の差は小さかった。暖候期（概ね日最高気温 10℃以上）は、処理による相対湿度の差が大きく、ハウス内気温の上昇に伴い、相対湿度は下がりはじめた。加湿無では、天窓換気により最低 30%程度まで下がった。しかし、加湿有では、細霧冷房装置稼働により、加湿時間帯は、相対湿度を最低 60%以上に保つことができた。相対湿度の差は、換気時間が長くなる暖候期に、より大きくなった。

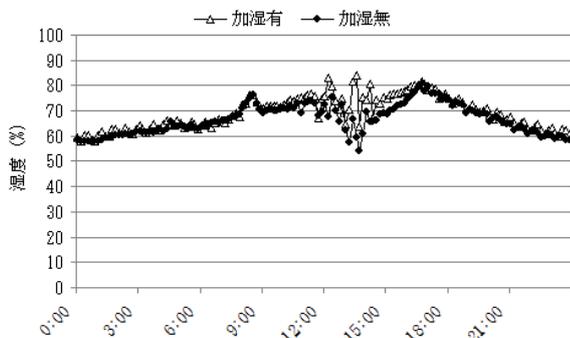
ハウス内気温の変化を第3・4図に示した。気温は、細霧冷房装置稼働時間帯に加湿有で低くなった。これは、天窓換気開始温度が、加湿有、加湿無で同一であったと考えられた。処理によるハウス内気温の差は、換気時間が長くなる暖候期に、より大きくなった。

茎径日変化は、加湿有・加湿無ともに気温上昇、相対湿度の低下に伴い、8時過ぎから収縮し始め、最大で加

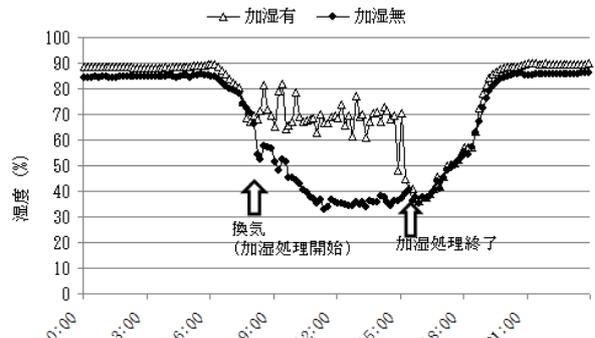
湿有が 0.02mm、加湿無が 0.04mm 収縮した。加湿有の 10時 20 分以降は、徐々に収縮が小さくなり、茎径は肥大に転じた。加湿無では、16 時頃に加湿終了するまで、収縮した状態が続いた。その後、夜間にかけて加湿無も収縮が回復し、茎径は肥大に転じた。しかし、加湿有に比べ、加湿無の茎径肥大量は小さかった（第5図）。葉厚日変化は、茎径日変化同様に、日中に収縮し、加湿無に比べ加湿有で収縮が抑えられた。最大収縮値は、加湿有が 0.016mm、加湿無が 0.053mm であった。また、加湿無の葉厚の収縮が急激に回復した時間帯は、換気が終了し、加湿無のハウス内相対湿度が上昇した時間帯と重なった（第6図）。茎径・葉厚測定日における 9～15 時のハウス内気温は、加湿有が加湿無に比べ平均 0.9℃低い状態であった。

蒸散流量は、気温上昇、相対湿度の低下に伴い、加湿有・加湿無とも 6 時過ぎから増加しはじめた。しかし、加湿処理開始後は、加湿有の蒸散流量は、加湿無に比べ、小さくなった（第7図）。測定日における 9～15 時のハウス内気温は、加湿有が加湿無に比べ平均 2.0℃低い状態であった。

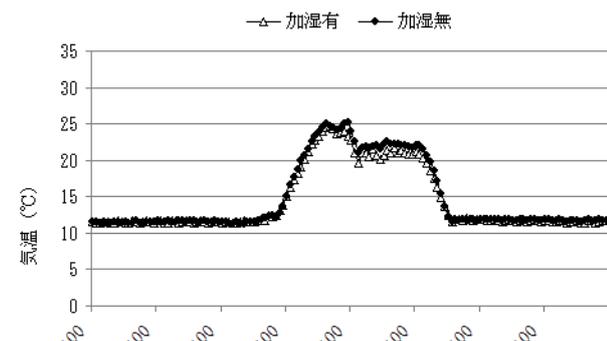
茎径、葉厚日変化および蒸散流量の測定結果から、茎径、葉厚の日中の収縮が、加湿有で抑制されたのは、加湿による相対湿度の上昇が、蒸散を抑制したためと考えられた。温度条件が同じ場合、蒸散速度は、飽差が大き



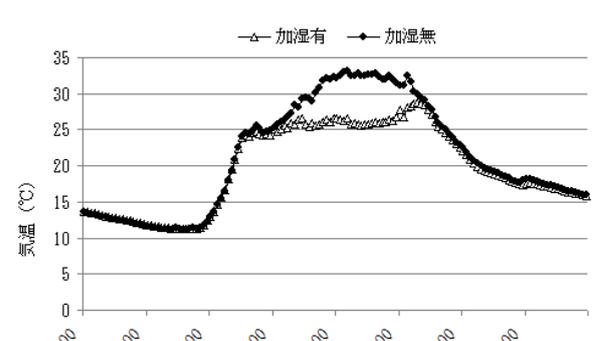
第1図 加湿の有無がトマトハウス内相対湿度に及ぼす影響 (1/1晴天)



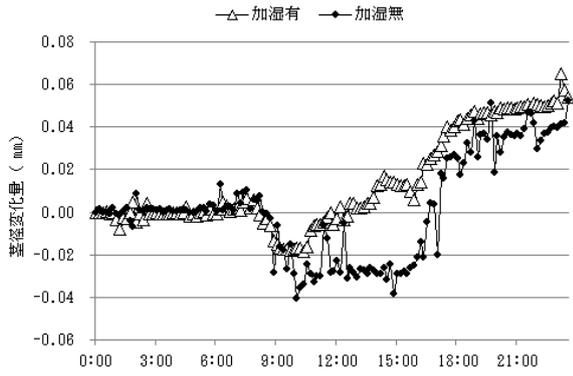
第2図 加湿の有無がトマトハウス内相対湿度に及ぼす影響 (5/3 薄曇時々晴)



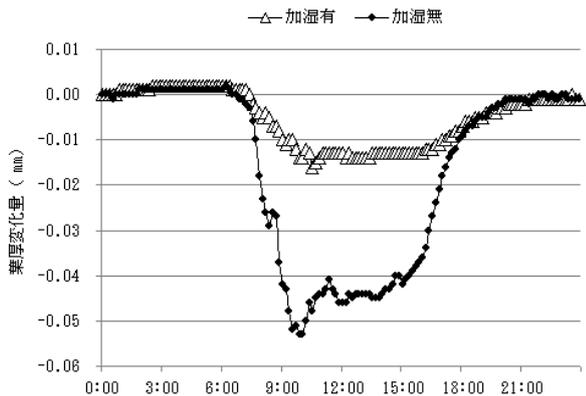
第3図 加湿の有無がトマトハウス内気温に及ぼす影響 (1/1晴天)



第4図 加湿の有無がトマトハウス内気温に及ぼす影響 (5/3薄曇時々晴)



第5図 加湿の有無がトマト茎径日変化に及ぼす影響 (3/14晴)

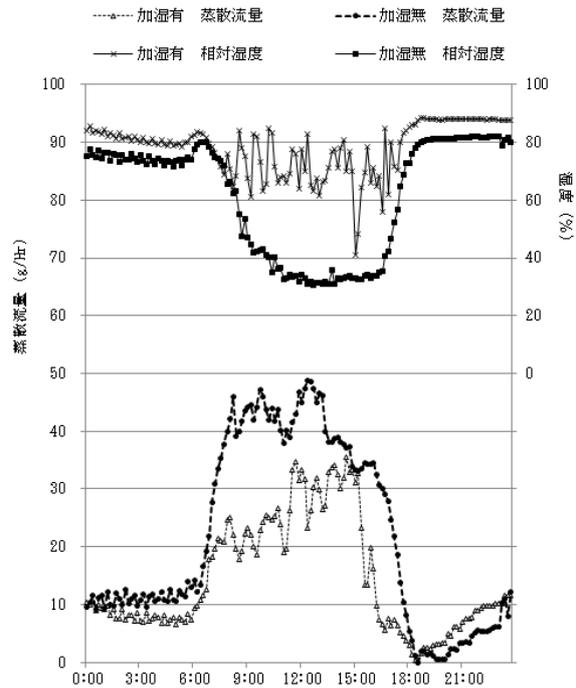


第6図 加湿の有無がトマト葉厚日変化に及ぼす影響 (3/14晴)

いほど大きくなる(長岡ら, 1984). 本試験の加湿処理は, 気温低下を伴うため, 加湿有は加湿無に比べ, 高相対湿度・低気温環境になり, 飽差がより小さくなった. このような環境では, 蒸散が抑制されるため, 茎葉の収縮抑制に見られる植物体水分保持に有利に働くと考えられた.

一方, 光合成速度は, 午前, 午後ともに加湿無に比べ加湿有が大きくなった(第2表). 測定日における9~15時のハウス内気温は, 加湿有が加湿無に比べ平均 4.0°C 低かった.

相対湿度が高いほど, 気孔コンダクタンスが大きくなり, その結果, 光合成速度が速くなることは既往の研究(吉田・松本, 2010)でも明らかになっている. 光合成に必要な二酸化炭素は葉内外の濃度勾配で取り込まれるため気孔コンダクタンスが大きいかほど光合成には有利である. 長岡ら(1984)は, 人工気象室を用いたポット試験において, トマト個葉は, 相対湿度が高いほど, 蒸散速度は遅くなり, 拡散伝導度は大きくなり, 光合成速度は速くなることを報告している. この報告によると, 拡散伝導度は, 気孔抵抗にともない変化するため気孔開度



第7図 加湿の有無がハウス内相対湿度とトマトの蒸散流量に及ぼす影響 (4/25晴)

第2表 加湿の有無が光合成速度に及ぼす影響

処理区	午前		午後	
	光合成速度 μmol/m ² /s	相対湿度 %	光合成速度 μmol/m ² /s	相対湿度 %
加湿有	22.6	77.9	20.0	74.3
加湿無	19.1	47.1	17.3	33.8

注1. 2010年4月14日10:21~14:52測定. 天候晴れ.

注2. 加湿有区は瞬間日射量0.2kW/m²以上あったため細霧稼働状態.

注3. Li-6400XT (Li-cor社)で測定.

注4. 測定条件: 葉温25°C, CO₂濃度400ppm, 光量子束密度1200μmol/m²/s.

の指標となる. 硬質フィルムハウスを用い, 圃場レベルで実施した本試験においても同様の傾向が示された. 相対湿度が高い環境では, 蒸散速度は遅くなり, 光合成速度は速くなった. 本試験の結果と長岡ら(1984)の報告を合わせて検討すると, 加湿有では, 蒸散速度が遅くなり, 植物体の収縮が抑制され, 水ストレスが低減した. その結果, 気孔コンダクタンスが大きくなり, 効率的に二酸化炭素の取り込みが行なわれたと考えられる. 二酸化炭素の吸収速度は, 品種による違いがあるが, 飽差5hPa以下で高い(安ら, 2010). そのため, 細霧冷房装置による加湿は, 冷房効果だけでなく光合成において, 二酸化炭素を取り込む点からも有効であると考えられた.

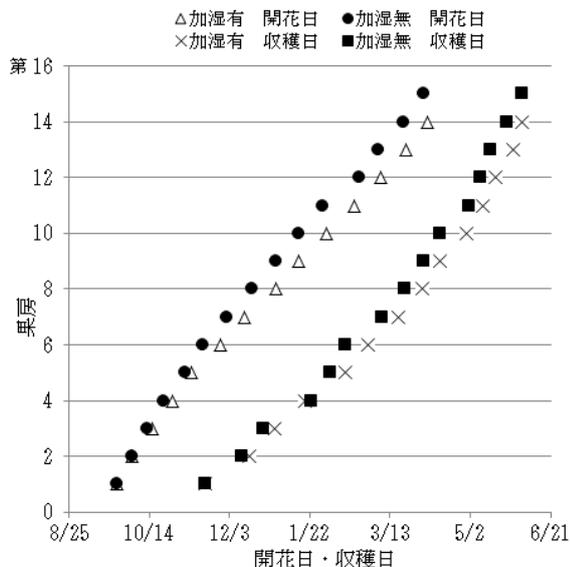
第3表 加湿の有無がトマトの収量・品質割合に及ぼす影響

処理区	総収量 kg/株	可販果収量					可販果率 %	収穫果房						
		果数 果/株	重量 kg/株	10a換算 t/10a	1果重 g	果房		健全	空洞	チャック	乱形	小果 ^注	その他	非販
加湿有	10.2	49.7	9.2	20.0	185	90	13.4	57	19	9	2	1	1	10
加湿無	10.0	55.4	8.8	19.0	158	88	15.8	49	24	8	4	0	4	12

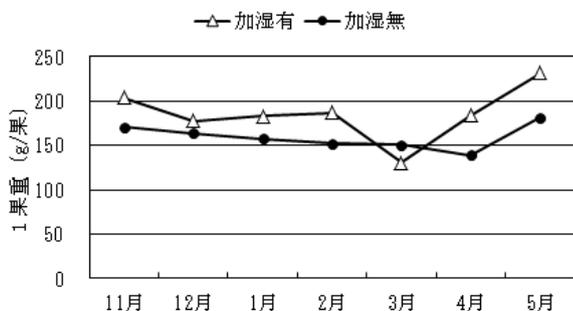
注. 小果は60~80g.

2. 加湿の有無がトマトの生育、収量品質に及ぼす影響

果房開花日、収穫日は、加湿無に比べ加湿有で遅くなかった(第8図)。果房開花日、収穫日が、細霧冷房装置を利用した加湿により遅くなったのは、気温低下により積算温度が小さくなったことで果房開花日が遅くなったことが原因であると考えられる。これは、トマトの果房段階間開花周期に要する積算温度は、半促成作型のトマト「ホマレ114」では200℃であるとの報告(北, 1987)と一致する。



第8図 加湿の有無がトマトの果房開花日、収穫日に及ぼす影響



第9図 加湿の有無がトマトの可販果1果重に及ぼす影響

本試験においては、開花速度の遅延は収穫果房数の減少につながっている(第3表)。収穫果房数は、ハウス内気温を高くできれば確保できることから、細霧冷房による加湿は、天窓換気開始温度を上げるなど、気温を確保しつつ行われるとさらに有効と考えられる。

総収量、可販果収量および可販果1果重は、加湿無と比較し、加湿有が多かった(第3表)。

可販果1果重は、3月を除き、加湿無と比較し、加湿有が大きくなった(第9図)。可販果1果重の増加は、加湿有の湿度環境が葉からの蒸散を抑制したことで、果実への水分の流入が増えたためと考えられた。これは、高

湿度下で蒸散の抑制により、蒸散されるべき水分が果実内に流入し、裂果を誘発するとの報告(渡邊ら, 2006)とも一致する。

加湿処理による収量の増加要因は、可販果1果重の増加が主であり、収穫果房数を確保できれば、更なる増加が見込めると考えられる(第8図, 第3表)。

本試験では、細霧冷房装置を用いた加湿により、蒸散が抑制されること、葉茎の収縮が抑制されること、光合成速度が速まることを圃場レベルで明らかにした。今後は、相対湿度と気温を複合的に制御することで、生育速度の確保と光合成速度向上を両立できる可能性がある。

謝辞

本試験の調査および、ほ場管理は、栃木農試園芸技術部野菜研究室堀井数己主任技術員、田中 祐技術員らを中心にご協力いただいた。ここに記し、厚く感謝の意を表す。

引用文献

- 安 東赫・池田英男・中野明正(2010) 光強度および飽差がトマト苗のCO₂吸収に及ぼす影響. 園学研. 9別1: 132
- 稲田秀俊・菅谷龍雄・袴塚紀代美・中原正一・植田稔宏(2011) 促成栽培トマトの収量に対する施設内の温度、相対湿度、飽差および二酸化炭素濃度の影響に関する現地調査. 茨城農総合センター園芸研研報第18号: 9-16.
- 岩崎正男・木村 進(1975) 施設園芸の微気象環境管理に関する研究(第1報). 静岡農試研報 20:33-40.
- 川島和子・鈴木充博・長屋浩治・水野はるか・榎原正弘(2010) ドライミスト®による冷房処理がトマト抑制栽培における施設内気温、生育、収量に及ぼす効果. 園学研 9別1: 143.
- 北 宜裕(1987) トマト半促成における生長解析. 神奈川園試研報第34号: 22-26.
- 鈴木隆志(2003) トマト養液栽培における3~7月期の利用効果. 施設と園芸 123: 14-17.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫(1984) トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響. 野菜試験場報告 A12: 97-117.
- 渡邊聖文・志和地弘信・岩堀修一・高橋久光(2006) 施設栽培におけるトマト果実裂果発生要因の解析. 東京農大農学集報 50(4): 106-111.
- 吉田 剛・松本佳浩(2010) 栃木農試野菜試験成績書平成21年度: 85-88.

