

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

荒 木 陽 一*

Water Management for Greenhouse Vegetables under Low Temperature
and Light Deficiency Conditions

Yoichi ARAKI

National Research Institute of Vegetables,
Ornamental Plants and Tea

1. 低温期における施設野菜の生育異常

施設野菜の中でも特に集約的な管理がなされる果菜類は、生育の極初期を除き、栄養生長と生殖生長が同時に進行する作物である¹⁾。したがって、両者のバランスが崩れ、生長がどちらに片寄っても収量は減少する。この両者のバランスが崩れた結果として最も問題となっているのが、茎葉の過繁茂である。栽植密度の高い施設栽培では、茎葉の過繁茂は日射に対して相互遮蔽を引き起こす。これは日射量の多い時期の栽培では問題は比較的少ない。しかし日射量の少ない時期の栽培では光合成を抑制し、花芽分化、着花（着果）、果実の肥大等に影響を及ぼし、低収量、低品質の原因となる²⁾。したがって、野菜の施設栽培では、茎葉が過繁茂に陥らないよう生育を周到に制御する必要がある、特に低温・寡日照期を経過する促成作型における定植直後の栽培管理に大きな注意が払われている。

2. 生育制御手段としての環境調節

施設野菜を取り巻く環境要因は、地上部と地下部の2つに分けることができる。この内、地上部環境要因としては、日射量を初めとして、温度、湿度、CO₂濃度、風速等がある。これに対し、地下部環境要因（土耕栽培を対象とした場合）は、さらに、土壌の固さ、水分、通気性、温度等の物理性と、pH、EC等の化学性ならびに小動物、糸状菌、細菌等の生物性に分けられる。これらの環境要因は、直接ならびに間接的に野菜の生育に影響を及ぼす。したがって、野菜の施設栽培においては、これらの環境要因の調節は、誘引、整枝、摘心、摘葉、

摘花（摘果）等の作物管理とともに、野菜の生育を制御する手段である。しかし、先にあげた環境要因のすべてが野菜の生育制御に利用できるわけではない。生育制御に有効でありながら経済的な面から利用できないもの（日射量、地温等）、あるいは生育との関係が十分解明されていないもの（土壌の生物性等）、あるいはまた制御方法の確立していないもの（土壌の化学性、一部の物理性）もある。これらの環境要因については制御の対象から除き、好適と思われる範囲を変動するに留めておく。残された環境要因として気温、湿度、CO₂濃度、土壌水分ならびに風速等がある。

3. 施設栽培における水管理の持つ意義

果菜類の中で最も茎葉の過繁茂を引き起こしやすい作物はトマトである。そして、その原因としては窒素肥料の多施用、多かん水、高夜温、若苗定植ならびに寡日照があげられている²⁾。したがって、トマトの過繁茂対策としては施肥、かん水ならびに夜温の適正化、適期苗定植、補光が考えられるが、環境調節から見た場合、トマトの生育初期の栄養生長を抑えるには低夜温あるいは水分ストレスが効果的であると言われている³⁾。しかし、両者の作用特性は異なり、個体ないしは各部器官ごとの全生長過程を、時間の関数として乾物増加曲線によって示した場合、低夜温はその初速度（スタート時の速さ）を抑制するのに対し、水分ストレスはその加速度（生育中の速度の変化）を抑制する⁴⁾。このことは、例えばトマトの第10葉が伸長盛期にあり、15葉が展開直後の場合、低夜温は葉齢の若い15葉の生長を抑制するのに対し、水分ストレスはより齢の進んだ10葉の生長を強く抑制する

*野菜・茶業試験場

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

ということの意味している。また、低夜温は茎葉の分化をも制御するのに対し、水分ストレスは器官分化に対する影響は小さく、しかも比較的弱いストレスで生育が抑制される⁵⁾。トマト定植直後の生育制御を考えた場合、株全体の生育ステージを遅らせることなく、現在伸長しつつある茎葉の生長を抑制して希望とする草姿へともっていく必要がある。したがって、定植直後のトマトの生育制御は水管理の方が温度管理よりも適していると考えられる。

4. 施設野菜に対するこれまでのかん水試験

施設内の水管理を温度管理と比較すると、温度管理は設定温度だけを決定すれば十分であるのに対し、水管理はかん水開始点とともに、1回のかん水量をも決定しなければならない。また、設定温度は普遍的(地域差が小さい)であるのに対し、かん水開始点ならびに1回のかん水量は栽培する土壌によって異なる。さらに、温度は単一のセンサーで広範囲にわたって計測可能であるが、土壌水分は単一のセンサーでは測定範囲が限られている。このような観点から施設野菜に対する過去のかん水試験を眺めると、まずかん水開始点を決定するのにテンシオメータが用いられてきた。この場合、同じ土壌水分吸引圧でも作物に対する影響は土壌によって異なること、また、生育制御の際には、土壌水分吸引圧はテンシオメータの計測範囲外になることなどが問題となる。次に、1回のかん水量については十分考慮されている試験が少なく、かん水開始点が異なっても1回のかん水量が同じという試験が一般的であった。これは、かん水量が消費水量に見合っている場合は問題ないが、かん水量が消費水量より少ないとかん水によって湿る土壌が徐々に浅くなる。逆にかん水量が消費水量より多い場合はかん水によって湿る土層は徐々に深くなる。これは、深さの異なる土壌を対象に栽培していることになる。したがって、得られた結果は土壌の深さの影響を受けており、かん水開始点ならびに1回のかん水量を決定する際に誤った判断を下す原因となる。

5. 施設野菜の水管理に対する最近の考え方

施設野菜に対するかん水時期の判定は、これまでは専ら土壌の水分状態に基づいていた^{6), 7), 8)}。しかし、野菜に限らず作物の生育に密接に関係しているのは体内の水分状態である。したがって、野菜に対するかん水開始の指標としては、土壌水分よりも体内水分の方が、よ

り一層野菜の生育に適していると考えられる。ところが、従来の体内水分測定法⁹⁾¹⁰⁾は時間を要する割に精度が低く、また圃場で簡便に使用できないために、野菜の体内水分をかん水開始の指標にすることは、これまでのところ実現していない。しかし、Sholanderら¹¹⁾によって紹介されたプレッシャーチャンパー法(作物の水ポテンシャルを測定)は、その取り扱いが簡単で、短時間に多数のサンプルを処理できることから、野菜の体内水分をかん水開始の指標にすることは可能と考えられる。

一方、1回のかん水量については、まずかん水対象土層深を決定し、かん水時に対象とする土層を圃場容水量の状態に戻すのに必要な量のかん水すれば、栽培土層深を一定に保つことが可能と考えられる。

6. 体内水分状態を指標とした水管理

茎葉の過繁茂発生機構は大体次の様に考えられている。すなわち、光合成によって生産された炭水化合物は他に用途がないと、いわゆる組織デンプンとして茎葉中に積蓄される。一方、養水分吸収が旺盛で窒素肥料が過剰に吸収されると、吸収された窒素は十分同化されずに、組織デンプンとともにタンパク質が作られるのに使われ、これが茎葉の伸長の素材となり、やがて茎葉ばかり茂ってくることになる¹²⁾。

ところで、光合成産物の分配の優先度は、果実>茎葉>花らしい順である¹³⁾。この事は、果実が肥大を開始すれば、光合成産物は優先して果実に分配されるために、茎葉中に貯蔵される量が減少して、茎葉が過繁茂になる可能性が低下するという意味している。

したがって、水分ストレスによるトマト定植直後の生育制御は果実肥大開始までと考えられるが、それはちょうど定植から第3花房開花までの期間に相当する。すなわち、かん水制限期間がそれ以上長くなると総収量ならびに良果収量とも減少する。これはかん水制限期間が長くなることにより肥大不良果が増加するためである(表-1)¹⁴⁾このことから、定植後のトマトの一生は、第3花房開花までの生育前期とそれ以降収穫終了までの生育後期に分けることができる。

各生育時期毎のかん水開始点(かん水開始時の水ポテンシャル)とかん水対象土層深のうち、まず生育前期のかん水開始点であるが、総収量は-5 barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも低下すると総収量も減少する。また、不良果も-5 barの時が最大で、かん水開始点の低下につれて減少する。その結果、良果収量は-10 barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも高くても低く

表-1 生育前期のかん水制限期間が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. 第3花房	200	37.4 kg	187g	14.6	82	7.8kg	282	45.2kg
2. 第4花房	204	34.4	168	13.4	92	7.7	296	42.2
3. 第5花房	161	27.4	170	10.7	113	8.7	274	36.1
4. 第6花房	158	27.7	175	10.8	122	9.9	280	37.5

²: 処理区とも2反復、8株の合計値表-2 生育前期のかん水開始点が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. -5 bar	182	26.4 kg	145g	8.3	209	16.5kg	391	42.9kg
2. -10 bar	179	27.8	155	8.7	162	12.1	341	39.8
3. -15 bar	178	26.9	151	8.4	165	10.5	343	37.4
4. -20 bar	155	23.4	150	7.3	172	11.7	327	35.1

²: 各処理区とも2反復、10株の合計値表-3 生育前期のかん水対象土層深が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. 40cm	276	48.9 kg	177g	12.7	80	9.6kg	356	58.5kg
2. 20cm	258	47.7	185	12.4	70	7.8	328	55.5
3. 10cm	259	46.1	178	12.4	82	9.1	341	55.2

²: 各処理区とも2反復、12株の合計値

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

表一四 生育後期のかん水開始点が収量に及ぼす影響^z

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. -5bar	172	30.9 kg	180g	12.1	116	9.9kg	288	40.8kg
2. -10bar	50	7.2	145	2.8	234	12.7	284	20.0
3. -15bar	14	1.6	117	0.6	246	10.8	260	12.4

* : 各処理区とも2反復、8株の合計値

表一五 生育後期のかん水対象土層深が収量に及ぼす影響^z

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t 10a	果数	果重	果数	果重
1. 40cm	168	26.1 kg	155g	10.5	107	8.9kg	275	35.0kg
2. 20cm	121	17.4	144	7.0	180	11.8	301	29.2
3. 10cm	91	13.1	144	5.3	199	13.2	290	26.3

* : 各処理区とも2反復、8株の合計値

表一六 各試験項目における最高収量と葉面積との関係 (㎡)

試 験 項 目	処 理 区			
	1	2	3	4
生育前期のかん水制限期間	1.25*	1.18	1.02	0.90
生育前期のかん水開始点	1.73	1.44*	1.12	1.06
生育前期のかん水対象土層深	1.33*	1.16	1.12	
生育後期のかん水開始点	1.34*	0.90	0.77	
生育後期のかん水対象土層深	1.24*	1.05	0.93	

* : 各試験項目において最高収量を示した処理区を表す

表-7 各試験項目における最高収量と葉面積指数との関係

試験項目	処 理 区			
	1	2	3	4
生育前期のかん水制限期間	3.9*	3.7	3.2	2.8
生育前期のかん水開始点	5.4	4.5*	3.5	3.3
生育前期のかん水対象土層深	3.8*	3.3	3.2	
生育後期のかん水開始点	4.2*	2.8	2.4	
生育後期のかん水対象土層深	4.0*	3.4	3.0	

*: 各試験項目において最高収量を示した処理区を表す

でも良果収量は減少する(表-2)¹⁵⁾。

生育前期のかん水対象土層深については、40cmの時の良果収量が最大で、かん水対象土層深がそれよりも浅くなるにつれて良果収量は減少する(表-3)¹⁶⁾。

次に生育後期のかん水開始点であるが、総収量ならびに良果収量とも-5barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも低下すると総収量ならびに良果収量は大きく減少する(表-4)¹⁶⁾。

生育後期のかん水対象土層深については、40cmの時の総収量が最大で、かん水対象土層深がそれよりも浅いと総収量は減少する。一方、不良果はかん水対象土層深が浅いほど増加する。その結果、良果収量は40cmの時が最大で、かん水対象土層深が浅いほど減少する(表-5)¹⁸⁾。

以上から、促成トマト栽培において定植後の生育を2つに区分し、定植から第3花房開花までの生育前期はかん水を控え、生育後期は十分かん水する水管理が良品の多収につながる。それぞれの制御目標値は生育前期のかん水開始点が-10bar、かん水対象土層深が40cm、生育後期のかん水開始点が-5bar、およびかん水対象土層深が40cmである。

なお、この水管理によって促成トマト1株当たりの葉面積を1.24~1.44㎡、葉面積指数で3.8~4.5に持っていく必要がある(表-6, 7)。

7. 残された問題点

施設野菜の栽培においては野菜の生育を希望とする草姿へと導き、良品・多収を目指すために生育の制御がなされる。ここではそのための水管理について報告したが、体内水分の測定法は現在のところ破壊による方法しかな

い。しかし、かん水を自動化するには非破壊で連続的に測定する必要がある。それゆえ、この方面の研究が早急になされる必要がある。また、水管理により野菜の生育を制御するには、制御方法とともに制御しやすい土壌構造を作成、維持する必要がある。したがって、その方面の研究も必要である。また、トマト用の温室は大部分地下水の高い水田跡地に建設されている。このようなところでは水管理による生育制御はできない。積極的に地下水の遮断、暗渠排水等がなされる必要があるが、このような工夫がなされた温室は少ない。これまで温室を初めとして暖房器、除湿器、CO₂施用器等地上部環境条件を調節する設備にはかなりの投資がなされてきた。これからは地下部環境条件の改善にももっと投資される必要がある。

引用文献

- 1) 斎藤 隆 (1979) 農業技術体系, 野菜編, 2, トマト, p. 基1~基27. 農文協, 東京.
- 2) 正木 敬・大野 元 (1981) 野菜試報A, 9 : 115~131
- 3) 久富時男・藤本幸平 (1971) 奈良農試研報第3号 37~54.
- 4) 安井秀夫・本多藤雄 (1977) 野菜試報C・3 : 17~50.
- 5) BOYER, J. S. (1970) Plant Physiol. 46 : 233~235.
- 6) 五島 康・市川裕雄・荒木陽一・柴田 明 (1981) 野菜試報A, 9 : 133~141.
- 7) 五島 康・荒木陽一・柴田 明 (1982) 野菜試報A, 10 : 147~160.
- 8) 荒木陽一・五島 康 (1983) 野菜試報A, 11 : 177~187.
- 9) Stocker, O. (1929) Planta 7 : 382~387.
- 10) Weatherley, P. E. (1950) New Phytol.
- 11) Sholander, P. F., H. T. Hamml, Edde, D. Bradstreet,

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

- and E. A. Hemmingsen (1965) Science 148 : 339~346.
- 12) 菅 洋 (1986) 作物の生理活性, 自立生育のしくみ, p. 114~116, 農文協, 東京,
- 13) 大原源二・内藤文男 (1987) 技会事務局編, GEP, III, No. 3 8~22
- 14) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61秋: 604.
- 15) 荒木陽一 (1987) 園学要旨, 昭62秋 : 310~311.
- 16) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61春: 276~277.
- 17) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61秋: 238~239.
- 18) 荒木陽一 (1987) 園学要旨, 昭62春 : 258~259.

Summary

The excessive growth of tomatoes cultivated in a greenhouse under low temperature and light deficiency conditions prevents photosynthesis due to mutual shading by the leaves, therefore the growth of tomatoes should be regulated to achieve optimum growth. Various aspects relating to water management which is one of the methods to control tomato growth, in the greenhouse under these conditions were analysed.

- ① Growth period of tomato after planting can be divided into two periods; 1, from planting to the opening of the third cluster and 2, from the opening of the third cluster to the end of harvest.
- ② The water potential of the tomato leaves and the depth of the soil receiving water were -10 bars and 40cm, respectively during the first period of growth.
- ③ During the second period of growth the corresponding values were -5 bars and 40 cm, respectively.
- ④ The leaf area index should range from 3.8 to 4.4 under such water management.