

昼間及び夜間のリン欠如培養液で水耕栽培したトマトの生長と養分吸収

寺林 敏・村松 功・稲田貴子・並木隆和

SATOSHI TERABAYASHI, ISAO MURAMATSU, TAKAKO INADA
and TAKAKAZU NAMIKI

Growth of, and nutrient uptake by tomato plants cultured in phosphate-free nutrient solution during day or night.

要旨：園試処方 50 %濃度液で水耕栽培したトマトを、昼間だけ（7時から19時）あるいは夜間だけ（19時から翌朝7時）リンを欠如させた培養液に移し、3日間の昼間と夜間の養水分吸収量を測定した。さらに、硝酸態窒素、カルシウムについても同様の方法で実験を行い、リン欠如の影響との比較を行った。

その結果、昼間ないし夜間のリン欠如によって、夜間ないし昼間のリン吸収量が顕著に増加した。増加の程度は昼間にリン欠如させた植物体の、夜間の吸収において大きかった。硝酸態窒素、カルシウムについてもリンと同様に、夜間の吸収量の増加程度が大きいことが認められたが、これらの傾向は3つの養分の中ではリンがいちばん強かった。

園試処方 50 %濃度液を用い、第1花房開花期から次の3つの異なるリン施与の方法でトマトを水耕栽培した。昼間（7時から19時）リンを欠如させた培養液で栽培する区（-P/C区）、夜間（19時から翌朝7時）リンを欠如させた培養液で栽培する区（C/-P区）、昼夜とも園試処方 50 %濃度液の完全培養液で栽培する区（C/C区）を設けた。

茎葉、根の生長量及び1果重、1株当りの果実重とも、3つの区の間には差は認められなかった。-P/C区のリン吸収量はC/C区の半分以下で、3日間の欠如処理の場合とは異なり、3つの区の間でリン吸収量に明らかな差が生じた。しかし、リン吸収量の大きな違いにも関わらずトマトの生長量に差がなかったことから、トマト水耕栽培で広く使用されている園試処方 50 %濃度液（リン濃度が2 me/l）では、生産に結びつかない無駄なリンの吸収が行われていることが明らかになった。

緒 言

筆者らはトマトの水耕栽培において、1日の7時から19時までを昼間、19時から翌朝の7時までを夜間とし、各々の時間帯における養水分の吸収量を測定した。その結果、リンは1日のうちで夜間に吸収される割合が栽培時期、生育段階の違いに関わらず他の養分よりも常に高く、昼間と夜間における吸

収量の差が小さいことを明らかにした（寺林ら1984）。

夜間は昼間に比べ、水分吸収量が大幅に減少するにもかかわらず、昼間と夜間のリン吸収量の差は小さい。このことは、夜間では、吸収される水分量に対するリン吸収量の比（吸収濃度）が、培養液のリン濃度以上に高いことを示している。しかし、リンがなぜ夜間にも多く吸収されるのか明らかでない。

本研究では、夜間のリン吸収の意義を明らかにす

るため、夜間あるいは昼間にリンを与えずにトマトを水耕栽培し、養分吸収並びにトマトの生長がいかなる影響を受けるか調査した。

材料及び方法

実験 1. 短期間の夜間及び昼間のリン欠如が昼間及び夜間のリン吸収に及ぼす影響

品種‘大型福寿’を1986年6月5日に園芸培土には種し、鉢上げ後、久保田式果菜用水耕ベッドで育苗した。7月16日に生育のそろった苗を容積25ℓの栽培槽に定植した。1栽培槽あたり3本植えで、1処理区あたり4反復とした。測定開始まで園試処方50%濃度液で水耕栽培した。なお、培養液への通気は小型エアポンプで行った。昼間、夜間とも園試処方50%濃度液で栽培する区(C/C区)、夜間にリンを欠如させた培養液で栽培する区(C/-P区)、昼間にリンを欠如させた培養液で栽培する区(-P/C区)の3区を設けた。リン欠如培養液は園試処方50%濃度液からリン酸1アンモニウムを抜いて作成した。リン欠如の影響を他の養分と比較するため、硝酸態窒素及びカルシウムについても同様の実験を行った。硝酸態窒素欠如培養液は園試処方50%濃度液から硝酸カリウムと硝酸カルシウムを抜き、カリウムとカルシウムとともに塩化物で与えて作成した。カルシウム欠如培養液は園試処方50%濃度液から硝酸カルシウムを抜き、カルシウムを塩化カルシウムで与えて作成した。

硝酸態窒素についてはリンと同じ時に実験を行い、カルシウムについては1985年8月23日には種のトマト植物体を用いて実験を行った。いずれの実験も、昼間は7時から19時までの12時間、夜間は19時から翌朝7時までの12時間とした。第3花房の上位2葉を残して摘心した。摘心2週間後にそれぞれの処理培養液で栽培し、3日間の養水分吸収量を測定した。

実験 2. 夜間および昼間にリン欠如培養液で水耕栽培したトマトの植物体と果実の生長

品種‘大型福寿’を1986年4月30日に園芸培土には種し、鉢上げ後、久保田式果菜用ベッドで育苗した。5月28日に久保田式果菜用ベッドに、1ベッドあたり8株を定植した。第1花房開花期の6月24日から3つの処理区で栽培を開始した。処理区は実験1と同様の、C/C区、C/-P区、-P/C区である。昼間は7時から19時、夜間は19時から翌朝の7時までとし、培養液はタイマーによって汲み上げポンプを使って自動的に交換させた。昼間用と

夜間用の培養液を各ベッドにつき別々に用意し、栽培ベッドには常におよそ40ℓの培養液が供給されるように補給した。培養液は1週間ごとに更新した。通気は栽培ベッド内でポンプを使って循環させることによって行った。3段階摘心栽培とし、開花した花をトマトトン100倍希釈液(PCPA 15 ppm)で浸せき処理し着果を促した。第2花房開花期、摘心後、第1花房収穫期、第3花房収穫期の計4回、養水分の吸収量を測定した。栽培は9月2日に終了した。

結果と考察

実験 1.

昼間あるいは夜間にリン及び硝酸態窒素を欠如させた場合の乾物100gあたり3日間の養水分吸収量を第1表に、同様にカルシウムを欠如させた場合の養水分吸収量を第2表に示した。C/-P区の昼間のリン吸収量は12.5 meで、C/C区の昼間のリン吸収量9.3 meに対して吸収量で34%の増加が認められた。一方、-P/C区の夜間のリン吸収量は11.6 meで、C/C区の夜間のリン吸収量6.0 meに対し吸収量で93%もの増加が認められた。昼間あるいは夜間にリンが与えられなかったトマト植物体にリンを吸収させた場合、リンの吸収増加の割合は昼間よりも夜間で著しく大きかった。

第1表から明らかのように、C/C区では、リン吸収量は昼間の方が夜間よりも多い。よって、リンの吸収が制限される程度は昼間のリン欠如の方が夜間のリン欠如に比べて大きいと思われる。それゆえに、昼間にリンを与えられなかった植物体が夜間にリンを盛んに吸収したものと考えられる。

このように昼間あるいは夜間における欠如養分の補償的な吸収量の増加は硝酸態窒素、カルシウムにおいても認められた。この2つの養分においても欠如養分の補償的な吸収量の増加は夜間の方が昼間より大きかった。硝酸態窒素では83%の増加が、カルシウムでは35%の増加が認められた。1日のうちで昼間に吸収される割合はリンよりも、硝酸態窒素、カルシウムの方が大きい。にもかかわらず、硝酸態窒素とカルシウムの夜間の吸収量の増加程度はリンの場合より低く、昼間の吸収量制限の大小だけでは夜間の吸収量の増加を説明することはできない。明らかに、リンは他の養分よりも、夜間において補償的にリン吸収を促進させる働きが強いといえる。

三井と熊沢(1957)は、水耕栽培した栄養生長期のイネを、1か月間特定の養分を欠如させた培養液

Table 1 Rate of nutrient and water uptake by tomato plants cultured in P-free or NO₃-N free culture solution during day or night.

Treatment	Time of absorption	Rate of uptake (water: ℓ/100 g D. W., nutrient: me/100 g D. W.)					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
C/C※	day	4.67	19.6	9.3	9.7	11.3	3.4
	night	0.57	7.6	6.0	3.0	2.5	0.9
	whole day	5.24	27.2	15.3	12.7	13.8	4.3
C/-P	day	4.47	19.7	12.5	8.5	10.6	3.7
	night	0.51	5.6		3.8	2.5	0.8
	whole day	4.98	25.3	12.5	12.3	13.1	4.5
-P/C	day	4.83	16.7		10.1	9.8	3.7
	night	0.59	10.4	11.6	3.2	3.6	0.7
	whole day	5.42	27.1	11.6	13.3	13.4	4.4
C/-N	day	5.23	26.3	10.3	10.3	10.9	4.1
	night	0.58	-2.5	9.2	3.4	3.8	0.5
	whole day	5.81	23.8	19.5	13.7	14.7	4.6
-N/C	day	4.52		9.2	8.2	10.1	2.9
	night	0.55	13.9	7.3	1.5	3.8	0.6
	whole day	5.07	13.9	16.5	9.7	13.9	3.5

※: day/night, C; 50 % Ensishoho culture soln
 -P; 50 % Ensishoho culture soln, P-free.
 -N; 50 % Ensishoho culture soln, Nitrate N-free.

Table 2 Rate of nutrient and water uptake by tomato plants cultured in Ca-free culture solution during day or night.

Treatment	Time of absorption	Rate of uptake (water: ℓ/100 g D. W., nutrient: me/100 g D. W.)					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
C/C※	day	4.46	56.3	16.3	41.7	20.6	9.0
	night	0.77	29.6	14.6	18.5	12.7	6.0
	whole day	5.23	85.9	30.9	60.2	33.3	15.0
C/-Ca	day	4.86	56.7	16.5	40.4	24.1	9.7
	night	0.79	33.4	13.7	18.1		9.1
	whole day	5.65	90.1	30.2	58.5	24.1	18.8
-Ca/C	day	4.70	61.9	15.0	37.1	3.6	15.0
	night	0.79	28.4	14.2	16.9	17.2	5.1
	whole day	5.49	90.3	29.2	54.0	20.8	20.1

※: day/night, C; 50 % Ensishoho culture soln
 -Ca; 50 % Ensishoho culture soln, Ca-free.

で栽培した後、完全培養液に移し各養分の48時間の吸収量を測定した。その結果、欠如養分の吸収はリンがいちばん強く、ついで窒素、カルシウムの順であった。カルシウムには吸収量の増加は認められなかった。本実験とは欠如の期間の長さ、作物の種類に違いはあるものの、欠如養分の吸収の様相は極めて類似している。

-P/C区とC/-P区との間ではリン吸収量に大きな差はなかった。リン以外の養分では、硝酸態窒素の吸収量がC/-P区の夜間、-P/C区の昼間で少なく、P欠如の培養液で硝酸態窒素の吸収量が減少した。村松(1987)はリン濃度の低い培養液では硝酸態窒素の吸収が低下することを報告している。本実験の結果もこれに一致するものと思われる。しかし、他の養分、カリウム、カルシウム、マグネシウムについてはリンの欠如による影響は小さかった。硝酸態窒素の吸収に対してリンの関与が大きいことが明らかである。

硝酸態窒素欠如あるいはカルシウム欠如を行った場合のリン吸収を見ると、C/-N区で特に夜間のリン吸収の増加が顕著であった。一方、カルシウム欠如の場合はリンの吸収量はC/C区に比べ、昼間夜間ともわずかに減少する傾向が認められた。硝酸態窒素とリン、カルシウムとリンの吸収過程における相互の関係をみると、リンの吸収は硝酸態窒素の吸収と拮抗するケースが多く、硝酸態窒素の吸収が旺盛であるとリンの吸収は抑制される(三井・熊沢, 1957)。C/-N区で夜間のリン吸収量が増加したことは、この様な両者の吸収過程における関係によるところが大きいと考えられる。1日の内での吸収養分のイオンバランスの維持という点でみると、陰イオンである硝酸態窒素の不足が同じ陰イオンであるリンの吸収によって調節されていると解釈される。

水分の吸収量は処理区でわずかに差が認められたが、水分の夜間吸収率はC/C区、C/-P区、-P/C区の順に11%、10%、11%と差がなく、昼間及び夜間のリン欠如が水分の吸収に及ぼす影響は小さい。明らかに、リンや硝酸態窒素において認められた昼間のあるいは夜間における補償的な吸収量の増加は水分の吸収量の増加によってもたらされたものではなく、能動的に吸収されたものである。

昼間にリンを与えない場合に、夜間のリン吸収量が、あるいは夜間にリンを与えなかった場合に昼間のリン吸収量が大幅に増加する。その一つの原因として、生体内濃度と外液濃度との間のバランスを維持する機構の存在を挙げることができる(Glass,

1976)。しかし、硝酸態窒素やリンのように吸収後に比較的速やかに根で代謝される養分については、この様な調節機構の存在についてはまだ明らかにされていない点が多い。例えば、一定期間リンを与えられず栽培されたリン欠乏状態の植物体が、リンを与えられると急速にリンを吸収し、時としてリン過剰障害を発生させることが知られている(Greenら, 1973)。この過剰障害の発生機構についても充分解明されていない。

硝酸態窒素やリンに比べ、カルシウムではこの補償的な吸収作用は弱い。カルシウムの不足による生理障害が多く発生する原因のひとつに、この様なカルシウムの補償的な吸収作用が弱いことが推察される。

樹田らはトマト(1984)、キュウリ(1985)においても、リンが夜間に吸収される割合が他の養分に比べ高いことを報告している。また、Hansonら(1953)がインゲンマメでリンの吸収移行を調査した実験結果をもとに、リンが夜間に吸収される割合を試算したところ4割程度の高い値が得られた。このように、リンが夜間に積極的に吸収される現象はトマトといった特定の作物に限定されるものではない。

Table 3 Absorbed cation and anion balance when phosphate ion is regarded as $H_2PO_4^{1-}$,

Treatment	Time of absorption	Absorbed cation and anion balance
C/C*	day	+1.7
	night	-3.2
	whole day	-1.5
C/-P	day	-1.1
	night	+1.5
	whole day	+0.4
-P/C	day	+6.9
	night	-6.8
	whole day	+0.1
C/-N	day	-4.4
	night	+7.1
	whole day	+2.7
-N/C	day	+18.1
	night	-8.1
	whole day	+10.0

* day/night,

C: 50% Ensishoho culture soln

-P: 50% Ensishoho culture soln, P-free.

-N: 50% Ensishoho culture soln, Nitrate N-free.

第3表に吸収された陽イオンと陰イオンの吸収量バランスを示した。昼夜間とも園試処方 50%濃度液で栽培されたC/C区では、養分の吸収が昼間は陽イオン側に、夜間は陰イオン側に偏っていた。昼間にリンを欠如させた場合、あるいは硝酸態窒素を欠如させた場合にはこの傾向がさらに助長された。一方、夜間にリンを欠如させた場合は、養分吸収のバランスは逆に昼間が陰イオン側に、夜間が陽イオン側に偏った。しかし、いずれの区も1日の吸収量バランスはよく保たれており、硝酸態窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウムの吸収量も大きな差がなかった。よって、少なくともリン濃度 2 me/l 園試処方 50%濃度液ではリンを昼間あるいは夜間に培養液から除いても他の養水分の吸収に与える影響は少なく、リンの昼間と夜間の補償的な吸収が1日全体の養水分吸収パターンを乱すことは極めて少ない。

実験 2.

栽培終了時の植物体の生育状態を第4表に示した。茎葉重、根重ともに3つの区の間で大きな差はなかった。

収穫果実の1果重と1株当りの果実重を第5表に示した。1果重は3つの区の間で差はなかった。いずれの区も第3花房の果実が小さくなった。これは

Table 4 Growth of tomato plants cultured in P-free solution during day or night.

Treatment	Dry weight (g/plant)	
	Leaves + Stem	Root
C/C※	117.4	12.2
C/-P	117.8	10.0
-P/C	126.5	10.4

※ day/night,

C: 50% Ensishoho culture soln.

-P: 50% Ensishoho culture soln, P-free.

Table 5 Fruit weight of tomato cultured in P-free solution during day or night.

Treatment	Fruit weight (g)			
	1st truss	2nd truss	3rd truss	plant
C/C※	255 ± 7※※	236 ± 10.6	174 ± 16.4	2505
C/-P	261 ± 11.5	259 ± 13.7	147 ± 16.5	2390
-P/C	256 ± 9.5	256 ± 13.7	154 ± 15.6	2510

※ day/night,

C: 50% Ensishoho culture soln.

-P: 50% Ensishoho culture soln, P-free.

※※ Mean ± SE.

Table 6 Rate of water and nutrient uptake by tomato plants cultured in P-free solution during day or night.

Treatment	Growth stage	Rate of uptake (water: l/plant/week, Nutrient: me/plant/week)					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
C/C※	1	6.9	61.9	22.6	39.3	28.0	9.9
	2	6.6	34.1	25.6	33.1	20.2	6.8
	3	12.8	41.2	31.5	37.8	25.6	9.5
	4	11.2	38.6	28.8	26.4	24.5	8.8
C/-P	1	6.9	65.1	17.6	37.7	29.3	11.8
	2	8.2	57.1	20.2	31.0	20.1	5.8
	3	12.7	49.5	27.1	34.7	29.6	8.3
	4	11.9	49.4	27.4	25.9	27.7	8.4
-P/C	1	6.6	61.0	9.9	36.4	25.4	10.4
	2	8.4	38.9	11.0	33.1	21.2	5.9
	3	13.0	58.9	12.2	40.4	32.4	9.2
	4	11.6	51.8	10.6	24.4	24.3	7.8

Growth stage: 1; 2nd truss bloom, 2; after pinching, 3; 1st truss harvest, 4; 3rd truss harvest.

※: day/night, C; 50% Ensishoho culture soln.

-P; 50% Ensishoho culture soln, P-free.

上位花房で尻腐れ果の発生が多かったためである。栽培時期が8月のもっとも暑い時期であったことと、培養液の頻繁な交換による根傷みが尻腐れ果の発生を助長したのではないかと考えられる。1株当りの果実重も3つの区の間で大きな差はなかった。なお、尻腐れ果の発生率はC/C区が21%，C/-P区が33%，-P/C区が24%であった。夜間リンを欠如させた培養液で栽培したトマトで、他の区に比べやや尻腐れ果の発生率が高かった。リンの吸収の不足によってトマトの尻腐れ果の発生が増加する(Cerdaら, 1979)との報告がなされているが、リン吸収量は-P/C区の方がC/-P区より少なく、リン吸収量の多少とは関連が薄いと思われる。また、尻腐れ果がカルシウムの不足によって発生する(Evans and Troxler, 1953)ことはよく知られているが、カルシウム吸収量に大きな差はなく、尻腐れ果発生とカルシウム吸収量との関連は認められない。

栽培期間中の1週間1株当りの養水分吸収量を第6表に示した。リン吸収量はC/C区がいちばん多く、C/-P区、-P/C区の順で少なくなった。-P/C区のリン吸収量はC/C区の半分以下であった。実験1の3日間の測定で、リンの昼間ないし夜間のリン欠如によっても残る半日の間に補償的にリン吸収が増加し、リン欠如の影響がそれほど大きくなかった結果と異なった。しかし、長い栽培期間の間では、一時的なリン欠如によって刺激される補償的吸収作用が低下し、リン施与量の少ない環境に適応したものと考えられる。

硝酸態窒素の吸収量はC/-P区がいちばん多く、-P/C区、C/C区の順で少なかった。ただし、第1回目の測定では3区の間で硝酸態窒素の吸収量に大きな差はなかった。生育の後期になって差が大きくなった。数値の上では、硝酸態窒素の吸収量はリン吸収量が少ないほど多くなっている。この原因の一つに、これら両イオンが互いに陰イオンであり、吸収が拮抗していることが挙げられるが、両者の関係についてはさらに検討が必要である。

昼間リンを欠如させて栽培したトマトでは、昼夜ともに完全な培養液で栽培されたものに比べ、リン吸収量が少ないといった明らかな違いが認められた。しかし、茎葉、根および果実の生長量にほとんど差がなかった。リン濃度が2 me/lの園試処方50%濃度液では、生長に結びつかない無駄なリンの吸収がなされていることをこの結果は示している。

リンの夜間吸収の意義を明らかにすることと同時

に、培養液におけるリン濃度の再検討の必要性がある。

引用文献

- 1) Cerda, A., F.T. Bingham and C.K. Labanauskas (1979) : J. Amer. Soc. Hort. Sci., **104**, 236-239.
- 2) Evans, H.J. and R.V. Troxler (1953) : Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **61**, 346-352.
- 3) Glass, A.D.M. (1975) : Plant Physiol., **56**, 377-380.
- 4) Green, D.G., W.S. Ferguson and F.J. Wader (1973) : Can. J. Plant Sci., **53**, 241-246.
- 5) Hanson, J.B. and O. Biddulph (1953) : Plant Physiol., **28**, 356-370.
- 6) 榎田正治・吉沢和秀・五味 清 (1984) : 園学要旨春季 226-227.
- 7) —— (1985) : 園学要旨春季, 258-259.
- 8) 三井進午・熊沢喜久雄 (1957) : 土肥誌, **28**, 7-10.
- 9) 村松 功 (1987) : 京都府立大学修士論文
- 10) 寺林 敏・滝井 謙・並木隆和 (1984) : 園学要旨春季 228-229.

Summary

Phosphate feeding was withdrawn during the night in a short term, and phosphate uptake was examined. Phosphate uptake during the day increased, by tomato plants grown in phosphate free culture solution during the night. The same phenomenon was observed in phosphate uptake during the night by tomato plants grown in phosphate free culture solution during the day. In both cases, compensatory uptake in response to resupply of phosphate functioned within a day. This compensatory function was larger during the night than during the day. Compensatory uptake of nitrate and calcium in response to resupply of these nutrients was also found. But that of calcium was not so remarkable as of phosphate.

Tomato plants were cultured to harvest fruit with the same method as the short term experiment mentioned above. There were no

difference in shoot and root fresh weight, fruit weight and total fruits weight per plant, with or without temporary withdrawal of phosphate. Compensatory uptake of phosphate was small in the long term experiment. Total uptake of phosphate by tomato plants which had been subjected temporarily to the

culture solution deficient in phosphate was considerably little as compared to non-treated controls.

These results suggest that luxurious uptake of phosphate, which did not result in accelerated growth, is common with nutrient solutions generally used.