

良品多収のための環境管理基準の設定に関する研究 (第2報)

トマトの ^{14}C -同化産物の転流, 分配に及ぼす
異なる夜温とその経過時間の影響

久 富 時 男・森 岡 和 之

A Study on the Standardization of the Environmental Control for
Increasing the Fruit Production of Vinyl House Crops. 2.

The effect of different night temperature and the night time
intervals after $^{14}\text{CO}_2$ feeding on the translocation and
distribution of ^{14}C Carbon in the tomato plant.

Tokio HISATOMI and Kazuyuki MORIOKA

緒 言

低温, 弱光期のトマト栽培は, 光合成の低下に伴う生育不良や着果不良, 生理的不良果の発生等の問題点が生じてくる。著者らは, この期間のトマトの光合成をできるだけ高める栽培管理技術として炭酸ガス施用, 早朝加温, 空気流動などを試みた結果, いずれも光合成量が増加し増収効果が認められた¹⁰⁾¹⁹⁾。一方, このような同化産物をできるだけ有効に生産に結びつけるために同化産物の転流は光合成および生産力を高める上で極めて重要な意義をもっている。

同化産物の転流を考慮に入れた夜温管理としてキュウリ²⁸⁾, トマト¹⁸⁾について従来の恒夜温管理に対して前夜半を転流促進温度に保ち, その後, 夜温を下げる夜間の変温管理が提唱され, その効果が認められている。トマトの同化産物の転流適温は 20°C ~ 30°C と比較的高温にあるが⁹⁾, 実際栽培される場合の夜間設定温度は, 一般品種では 5°C ~ 12°C と転流適温より低い範囲にあるため, この夜温の範囲内における夜温の違いと, その経過時間別に同化産物の転流方向, 転流分配等を ^{14}C を用いて追跡し, トマトにおける転流動態を明らかにし合理的な夜温設定の基礎資料を得る目的でこの一連の実験をおこなった。

実験 I 全葉に同化させた ^{14}C の移行および体内分配におよぼす夜温とその経過時間の影響

摘心した個体の全葉に $^{14}\text{CO}_2$ を同化させ, 夜温とその経過時間の違いによる各器官への ^{14}C の移行, 分布割合を調べた。

実験材料および方法

1973年1月17日に播種した品種福寿二号を $1/5000\text{ a}$ ポットにあげ, 第2花房上2葉を残して摘心し, ビニールハウス内で生育させた。第2花房結実期の4月18日に生育の揃った個体を選びチェンバー内で $^{14}\text{CO}_2$ の同化処理をした。 $^{14}\text{CO}_2$ の同化処理は $75\mu\text{Ci}$ の $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ に30%の乳酸を添加して $^{14}\text{CO}_2$ を発生させ, 自然光下で30分, チェンバー内の気相を循環させながら同化させた。同化処理直後, $^{14}\text{CO}_2$ 固定量の測定のため第一花房直下葉を採取した。夜温処理は, 5°C , 12°C に設定した暗黒の人工気象室に入れ経過時間は4時間, 16時間とした。夜温処理後, 第1花房以上の各葉位を上葉, 以下を下葉として採取し, それぞれ葉身と葉柄とにわけた。上, 下葉の着生している莖部もそれぞれ上莖, 下莖にわけ, 葉身, 莖と葉柄, 花房別果実, 根と各部位に別け果実は真空凍結乾燥, 他の部位は通風乾燥し, 各部位別に秤量, 粉砕した。

^{14}C の定量は試料 10mg を精秤し, 60%の HClO_4 , 0.1ml と30%の H_2O_2 0.2ml の混液によりバイヤル中で 70°C , 20~30分間振盪湯煎して分解し, 液体シンチレーションカウンターで3~5回反復し比放射能を計測した。なお, 得られた計測値に対して自然計数値を補正した。

$^{14}\text{CO}_2$ 同化処理, 夜温処理, 試料の調製, ^{14}C の定量は実験 I ~ IVとも同様の方法でおこなった。

実験結果

供試個体は第1表のとおり全乾物重は31~34gの範囲にあり、葉身と果実は同程度で、果実は第2花房着果期で果実乾物の全個体に対する割合は約30%であった。

$^{14}\text{CO}_2$ の同化量は夜温5℃、4時間処理個体は、やや少いが他の個体は同程度であった。各処理区とも葉の比放射能が高く葉に残存する ^{14}C の割合が多い。葉からの ^{14}C の減少量は夜温が高く、その経過時間が長いほど多くなり、上葉は下葉より残存する ^{14}C が多かった。

葉柄を含む茎へは $^{14}\text{CO}_2$ 供与4時間後にかなり転流しており夜温による差は少ない。果実への ^{14}C の移行は、夜温およびその経過時間をとわず第1花房より第2花房の比放射能が高く、第2花房への ^{14}C の移行は、4時間経過の時点では夜温による差は少なく、16時間経過後では12℃区は5℃区の2倍以上の比放射能を認めた。

^{14}C の根への移行は夜温が高くその経過時間が長いほど多くなり夜温5℃、4時間では根への移行はほとんど認められなかった。

^{14}C の各器官における分布量は供試個体の各器官別の乾物重とその部位の比放射能から算出した。供与器官である葉身に残存する ^{14}C の割合は多く、夜温12℃、16時間で体内に保有する ^{14}C の46%が残存し、5℃、16時間で70%、12℃、4時間で74%、5℃、4時間で87%が移行せずに葉身に残った。果実には夜温12℃、16時間で約30%、5℃、16時間では12℃の場合の1/2の分布割合となった。根への分布は葉柄、茎より少なかった。

実験II. 異なる葉位に同化させた ^{14}C の移行および体内分配におよぼす夜温とその経過時間の影響。

実験Iでは全葉に $^{14}\text{CO}_2$ を同化させたが、個々の葉の同化産物がどのように転流するかを調べるために $^{14}\text{CO}_2$ の供与葉位を変えて、夜温とその経過時間別に ^{14}C の転

第1表 供試個体の各器官別の乾物重 (g/個体)

	上葉身	上葉柄 上茎	下葉身	下葉柄 下茎	根	第1花房	第2花房	同化处理 サンプル葉	計
12℃-4 h	4.7	3.4	5.0	5.9	4.0	9.2	0.2	1.4	33.7
5℃-4 h	5.1	3.3	4.3	4.9	3.6	10.4	0.3	1.3	33.2
12℃-16 h	4.3	3.6	3.8	5.4	4.2	7.8	0.7	1.6	31.4
5℃-16 h	5.0	3.2	4.4	4.9	3.2	9.6	0.1	1.3	31.7

第2表 全葉で同化させた ^{14}C の器官別の比放射能 (cpm/mg) とその比率 (%)

	上葉身	上葉柄 上茎	下葉身	下葉柄 下茎	根	第1花房	第2花房	処理直後 同化葉
12℃-4 h	比放射能	8,713	1,881	6,050	1,253	772	838	1,870
	同比率	40.8	8.8	28.3	5.9	3.6	3.9	8.7
5℃-4 h	比放射能	10,034	1,691	6,909	807	91	169	1,839
	同比率	46.6	7.9	32.1	3.7	0.4	0.8	8.5
12℃-16 h	比放射能	5,934	2,164	3,655	1,346	1,402	2,743	4,711
	同比率	27.0	9.8	16.7	6.1	6.4	12.7	21.5
5℃-16 h	比放射能	7,812	1,516	5,363	1,014	942	1,453	2,280
	同比率	38.4	7.4	26.3	5.0	4.6	7.1	11.2

第3表 全葉で同化させた ^{14}C の各器官における分布量比率 (%)

	上葉身	上葉柄・上茎	下葉身	下葉柄・下茎	根	第1花房	第2花房
12℃-4 h	42.5	6.7	31.7	7.7	3.2	8.0	0.4
5℃-4 h	55.0	6.0	31.9	4.2	0.4	1.9	0.6
12℃-16 h	30.0	9.1	16.3	8.5	6.9	25.3	3.9
5℃-16 h	43.6	5.4	26.3	5.5	3.3	15.6	0.3

流状態を追跡し、葉位の異なる葉の同化産物の体内における分配形式を調べた。

実験材料および方法

供試個体は実験 I で供試したのと同時期に栽培したものを第 2 花房上 2 葉を残して摘心し 4 月 24 日、第 2 花房着果期に第 2 花房上 1 枚目を上位葉、第 1 花房下 1 枚目を下位葉とし、その葉一枚に 30 μ Ci の ¹⁴C₂ を供与した後、実験 I と同じ夜温処理をした。夜温処理後、下位葉より上 5 葉を上葉、下、7~8 葉を下葉とし、葉柄、茎もこの部位で上、下、二層に別けたほか根、花、花房別果実にかけて測定に供した。なお、同化葉は測定から

除いた。

実験結果

供試個体は第 4 表のごとく全乾物重が 50~60g で果実が葉身を上まわり、果実の全個体に対する割合は 30~40% を占めた。

¹⁴C の同化葉における残存率はいずれの処理区も高く夜温が高い方が葉身からの ¹⁴C の転出は多くこの結果は、実験 I と同じであった。

葉に同化された ¹⁴C の他の葉への移行は近接葉も含めて極めて少く各処理区とも夜温処理 16 時間後にはほとんど認められなかつた。また、葉柄にも各処理区とも痕跡

第 4 表 供試個体の器官別乾物重 (g/個体)

		上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	第 1 花房	第 2 花房	同化処理葉	計
12°C-4 h	上位葉	5.8	8.8	2.0	3.0	2.4	5.0	6.7	15.8	1.6	1.5	52.6
	下位葉	7.4	4.7	2.3	1.4	2.0	4.1	5.8	17.1	1.5	2.0	48.3
5°C-4 h	上位葉	5.4	6.2	1.8	2.0	2.0	4.2	5.0	15.5	2.5	1.4	46.0
	下位葉	7.2	5.4	2.3	1.5	2.2	4.2	7.2	12.3	0.3	2.1	44.7
12°C-16 h	上位葉	6.5	6.6	2.5	2.4	2.5	4.6	6.4	15.0	2.7	2.3	51.5
	下位葉	6.0	5.0	2.3	1.5	2.0	4.9	6.3	16.6	0.8	2.1	47.5
5°C-16 h	上位葉	8.7	7.4	3.3	2.3	3.1	6.0	7.3	17.1	1.3	2.7	59.2
	下位葉	5.3	5.6	2.3	2.0	2.1	5.8	6.5	17.1	1.0	2.2	49.9

第 5 表 異なる葉位で同化させた ¹⁴C の器官別の比放射能と (cpm/mg) その比率 (%)

		上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	第 1 花房	第 2 花房	
12°C-4 h	上葉	比放射能	15	t	t	t	854	359	242	67	663
		同比率	0.7	—	—	—	38.5	16.2	10.9	3.0	29.9
	下葉	比放射能	t	69	t	t	t	866	509	184	14
		同比率	—	4.6	—	—	—	58.0	20.7	12.3	1.0
5°C-4 h	上葉	比放射能	45	t	39	t	1,008	77	t	37	78
		同比率	3.4	—	3.0	—	77.5	5.9	—	2.8	6.0
	下葉	比放射能	t	22	t	t	t	162	24	18	32
		同比率	—	8.1	—	—	—	59.9	8.8	6.7	11.9
12°C-16 h	上葉	比放射能	t	t	30	t	861	284	496	560	1,850
		同比率	—	—	0.7	—	20.9	6.9	12.0	13.6	44.9
	下葉	比放射能	t	t	t	t	t	646	538	537	78
		同比率	—	—	—	—	—	35.0	29.2	29.1	4.2
5°C-16 h	上葉	比放射能	24	t	t	t	590	141	t	185	1,567
		同比率	1.0	—	—	—	23.3	5.6	—	7.3	61.4
	下葉	比放射能	t	t	t	t	t	256	48	528	38
		同比率	—	—	—	—	—	29.0	5.4	59.7	4.2

t : trace

第6表 異なる葉位で同化させた ^{14}C の器官別の分布量比率 (%)

		上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	第1花房	第2花房
12°C-4 h	上葉処理	1.1	t	t	t	26.5	23.1	21.0	13.6	13.7
	下葉処理	t	3.6	t	t	t	39.3	19.9	34.8	0.2
5°C-4 h	上葉処理	7.3	t	2.0	t	56.4	9.1	t	15.7	5.5
	下葉処理	t	15.3	t	t	t	51.7	13.0	16.8	0.7
12°C-16 h	上葉処理	t	t	t	t	10.6	6.4	15.6	41.4	24.6
	下葉処理	t	t	t	t	t	20.2	21.6	56.8	0.4
5°C-16 h	上葉処理	2.5	t	t	t	21.9	10.2	t	38.0	24.4
	下葉処理	t	t	t	t	t	13.7	2.9	83.1	0.3

t : trace

程度であつた。

^{14}C の茎への移行は、上位葉に同化させた場合は上、下茎いずれへも移行するが、上茎への移行が多く、下位葉に同化させると同化葉より上部の茎には各処理区ともほとんど移行せず下位葉から上茎への ^{14}C の移行は非常に少なかつた。

^{14}C の根への移行は下位葉からのものが多く、この場合は夜温が高く経過時間が長いほどよく移行し、夜温5°Cでは上位葉から根にはほとんど移行しなかつた。

果実への移行は上位葉の ^{14}C は夜温12°Cでは第1、第2両花房へ移行するが下位葉の ^{14}C は第1花房への移行が多く第2花房へは極めて少い。このように摘心した個体では下位葉から上方の受容器官への移行は少いことが認められた。

夜温と転流との関係は、夜温が12°Cでは同化葉の上下にかかわらず果実、根への移行が多い。夜温が5°C、4時間でも上位葉から上茎への移行は多いが、果実へは少い。5°Cで16時間経過すると同化葉の近くの果実への移行割合は多くなつた。

^{14}C の各器官別の分布割合は夜温処理が4時間では茎に多く、次いで果実で、16時間経過すると各夜温とも果実に対する配分は茎のそれを上まわつた。

実験Ⅲ. 一葉に同化させた ^{14}C の移行、体内分配に およぼす連続3夜間温度処理の影響

葉に同化させた ^{14}C は夜温12°Cで16時間経過させても

同化葉に残存する同化産物は極めて多いため、5°C、12°Cの夜温で2昼3夜(63時間)経過させた場合の同化産物の分配形式を調べた。

実験材料および方法

12月10日まきの米寿を30cm 素焼鉢に上げ、草丈160cm、第5花房まで着果し、第6~7花房開花中で無摘心の個体を供試した。 $^{14}\text{CO}_2$ の同化処理は4月28日、第3花房下1枚目の一葉に $50\mu\text{Ci}$ の $^{14}\text{CO}_2$ を供与した。夜温処理は5°C、12°Cに17時から8時までの15時間に3夜間おこない昼間は各処理個体とも23~27°Cのガラス室内においた。3夜間処理後、同化葉を境にそれより上を上葉、下を下葉として測定対象とした。葉には葉柄を含めた。他の部位は茎、根、果実、花、に分解した。同化葉は同化処理直後、その一部をとり $^{14}\text{CO}_2$ の固定量を測定し、夜温処理後も同様に測定し ^{14}C の残存率を求めた。同化葉は全体の測定から除いた。

実験結果

供試個体の各器官別の乾物重は第7表に示した。果実の乾物重が全体の40~50%を占める生育ステージの進んだものであつた。

葉に同化させた ^{14}C は2昼(18時間)、3夜(45時間)経過しても夜温12°Cで36%、5°Cで65%が同化葉に残存した。

第7表 供試個体の器官別乾物重 (g/個体)

	上葉	下葉	茎	根	果実	花	同化処理葉	合計
12°C	9.2	24.0	19.6	11.4	68.8	0.1	2.7	135.8
5°C	16.7	31.8	26.5	14.7	68.0	0.3	4.0	162.0

第8表 1葉で同化させ2昼3夜経過させた時の各器官別の比放射能 (cpm/mg) とその比率 (%)

		上葉	下葉	茎	根	果実	花	処理直後 同化葉	同化葉 残存率%
12°C	比放射能	216	142	1,684	175	5,081	663	92,234	36.0
	同比率	2.7	1.8	21.2	2.2	63.8	8.3	—	—
5°C	比放射能	87	65	1,341	33	2,655	1,345	80,727	65.0
	同比率	1.6	1.2	24.3	0.6	48.0	24.3	—	—

第9表 1葉で同化させ2昼3夜経過させた時の¹⁴Cの各器官における分布量比率 (%)

	上葉	下葉	茎	根	果実	花
12°C	0.5	0.1	8.5	0.5	90.4	0.01
5°C	0.7	0.9	16.1	0.2	81.9	0.2

同化葉から他の葉への¹⁴Cの移行は全般に少く、特に夜温5°Cでは非常に少い。sink能力の大きいのは果実と茎で果実へは夜温12°Cの方が移行が多く、茎へは5°Cの方が多し。根への移行は夜温12°Cの方が多し移行割合は極めて少し。花への¹⁴Cの移行は夜温5°Cの方が多くなった。同化葉から転出した全¹⁴Cのうち呼吸で消費された残りは、12°C、3夜間処理で果実に90%、夜温5°Cでも80%以上が果実に移行した。比放射能が高くsink能力が大きい茎や花は乾物量が少いため分布割合としては極めて少し結果となった。

実験Ⅳ. 全葉に同化させた¹⁴Cの移行、体内分布および同化葉からの¹⁴Cの減少におよぼす連続3夜間温度処理の影響

実験Ⅲでは生育ステージの進んだ個体の一葉に同化させた場合を検討したが、生育ステージの若い個体の全葉に¹⁴CO₂を同化させ夜温12°Cと5°Cに連続3夜間経過させ同化産物の体内での分配形式と同化葉からの¹⁴Cの減少状態を経時的に調べた。

実験材料および方法

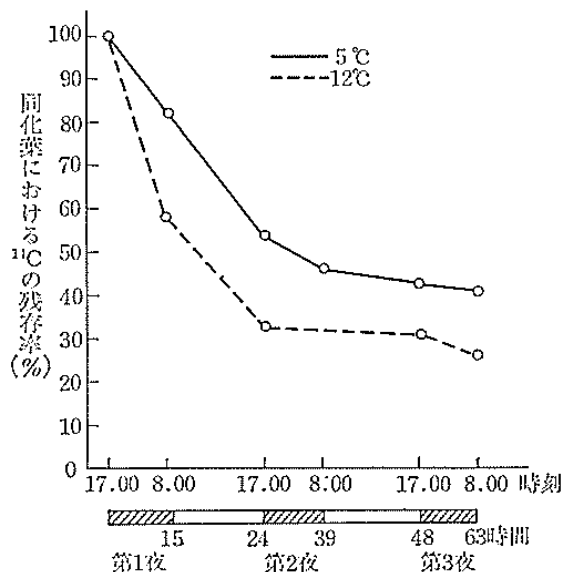
3月1日まきの米作を30cm素焼鉢に上げ無摘心で栽培し、第3花房開花期の6月12日に全葉に50μCiの¹⁴CO₂を供与した。同化処理直後、¹⁴CO₂の固定量測定のため上葉(第2花房上1枚目)、下葉(第1花房下1枚目)を代表葉位としてその一部を採取した。夜温処理は実験Ⅲに準じた。夜温処理後、上葉を境に上側を上葉、下側を下葉としその部位の茎も上、下に別け、花房別果実、花、生長点、根に分解した。

同化葉からの¹⁴Cの減少割合測定は第2花房上1枚目の小葉を各時間区分別に6回採葉し測定に供した。

実験結果

供試個体の器官別乾物重は第10表のとおりで第3花房開花期で果実が全体の38%、葉柄を含めた葉が31~34%を占めた。

同化葉からの¹⁴Cの減少割合は第1図に示すとおりで同化処理直後の葉の比放射能を100とすると夜温12°Cでは同化処理をした当日の夜間15時間で約40%、翌日の昼間9時間に約30%が減少し、その後、時間が経過しても¹⁴Cの減少は認められず、¹⁴Cのとりこみ量の25~30%が同化葉に残存した状態で第3夜まで経過した。夜温5°Cでは第1夜に約20%が翌日の昼間に30%が減少し、その後も徐々に減少し、¹⁴Cのとりこみ量の40%が同化葉に残存した。¹⁴Cの葉からの減少割合は呼吸による消費量を除けば夜温の高低にかかわらず翌日の昼間も第1夜とほぼ同じ割合で¹⁴Cの転出は継続し、夜温12°Cでは翌日の夕方、同化処理24時間後までに転出が終るが、夜温5°Cではその後も転出が続き同化処理後2昼2夜(48時)まで¹⁴Cの転出が継続した。



第1図 2昼3夜間における同化葉からの¹⁴Cの減少状態

第10表 供試個体の器官別乾物重 (g/個体)

	上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	生長点	第1花房	第2花房	花	合計
12°C	2.8	8.3	1.3	3.7	2.0	7.5	6.0	0.11	14.6	4.9	0.15	51.36
5°C	5.0	13.2	1.9	5.6	3.7	9.3	7.3	0.15	20.0	8.2	0.10	74.45

第11表 全葉で同化させた ¹⁴C の2昼3夜経過させた時の各器官における比放射能 (cpm/mg) とその比率 (%)

		上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	生長点	第1花房	第2花房	花	処理直後		同化葉残存率 (%)	
														上葉	下葉	上葉
12°C	比放射能	725	570	340	223	352	220	312	719	420	1,004	515	2,834	2,494	25.6	22.9
	同比率	13.4	10.6	6.3	4.1	6.5	4.1	5.8	13.3	7.8	18.6	9.5	—	—	—	—
5°C	比放射能	953	763	458	263	448	222	231	560	177	400	513	2,347	2,370	40.6	32.2
	同比率	19.1	15.3	9.2	5.3	9.0	4.5	4.6	11.2	3.5	8.0	10.3	—	—	—	—

第12表 全葉で同化させた ¹⁴C の2昼3夜経過させた時の各器官における分布量比率 (%)

	上葉身	下葉身	上葉柄	下葉柄	上茎	下茎	根	生長点	第1花房	第2花房	花
12°C	8.7	20.1	1.9	3.5	3.0	7.0	8.0	0.3	26.2	21.0	0.3
5°C	16.2	34.0	2.9	5.0	5.6	7.0	5.7	0.3	12.0	11.0	0.2

同化処理後、2昼3夜(63時間)経過後、葉に残る¹⁴Cは夜温12°Cで上、下葉に平均24%、夜温5°Cで36%が同化葉に残存した。摘心しない個体では¹⁴Cの同化葉に残る割合は上葉に多く、下葉における残存率はやや低かった。

¹⁴Cの移行に対する夜温の影響をみると、夜温5°Cでは、葉柄、茎に多く、夜温12°Cでは果実、根への移行が多くなり、特に第2花房の効果の比放射能が高くなった。生長点、花への移行については、夜温の影響は少なかった。

各器官における¹⁴Cの分布割合は夜温12°Cでは葉に残る量よりも果実への分布が上まわり、移行した全¹⁴Cのうち第1、第2両花房の果実へ47%が分布し、夜温5°Cでは全¹⁴Cのうち50%が葉に残り果実へは23%と夜温12°Cの時の1/2にとどまった。

論 議

同化葉に固定された¹⁴CO₂のうち、一部は葉の代謝維持のため消費され、また、一部は葉の構成成分になるが、その他の多くは糖の形態で他の部位へ転流する。同化産物の転流に関与する外部要因のうち温度は最も大き

く影響をおよぼすものの一つである。

トマトの同化産物の転流と温度との関係については、Went²⁹⁾は糖の転流は温度の低下とともに増加し8°Cで最も多くなるとし、また、暗期12時間を8°C、17°C、26°Cにおき植物体各部分の蔗糖含量を調査し、糖の転流率は低温の場合ほど多いとしている³⁰⁾。これに対してHewitt and Curtis⁶⁾は暗期温度を4°C~40°Cに設定し、トマト葉からの転流と呼吸によつて消失する乾物量と炭水化物量を測定した結果、転流は20°C~30°Cの範囲で最大となり、低温で根に糖の蓄積が多いのは呼吸や生長に用いられる量が少いためであるとしている。このようにトマトの同化産物の転流適温については、比較的、低温(8°C)であるとする説と高温(20~30°C)にあるとする説があるが、一般的には、同化産物の転流は、20°C~30°Cから温度が低下するにしたがい抑制されることが知られている²³⁾²⁴⁾。この一連の実験の夜温設定は一般的なトマト栽培における夜温設定の範囲である5°C~12°Cにとつたため転流適温よりかなり低い温度条件で実施した。

実験I~IVを通じて、いずれも葉に固定された¹⁴Cは夜温の高い方が葉からの転出量が多くなった。稲山ら¹⁹⁾

はキュウリでとりこまれた¹⁴Cの移行と夜温との関係を調べ、夜温10℃では移行が遅く、18℃では移行は早くなるが系外放出が多くなるとしている。夜温が高くなれば、葉での呼吸消費量は増加するが、夜温の高い方が他の器官への移行割合が高くなることから、高夜温で同化産物の転流を促進することは明らかである。

同化産物の受容器官となるのは植物体全体にまたがるが、特に大きな受容器官は果実であり、着果直後の幼果のsink活性は著しく高くなった。Leopold¹⁷⁾らはトマトは開花後、20日頃までに¹⁴Cの果実へのとりこみが非常に多いことを認めている。¹⁴Cの果実への移行と温度との関係は、いずれも12℃>5℃になり、実験Iでは葉から転出した全¹⁴Cのうち果実への分布割合は夜間16時間、12℃では30%、5℃では16%となり、実験IIIでは昼夜を含めて63時間、夜温12℃で47%、5℃では23%といずれも夜温12℃は5℃の2倍の分布割合になり夜温が高い方が果実への転流は多くなった。また、果実への¹⁴Cの転流割合は受容器官の量的な大きさ、すなわち、果実の着果状態に支配され、実験IIIのように第5花房まで着果している個体では、一葉に同化された場合、葉から転出した全¹⁴Cの80~90%が果実に移行した。このことは、田中ら²⁷⁾もトマトの同化産物の葉からの移行は葉以外のsinkの大きさに支配されるとしている。

果実以外でsink活性の強いのは生長点、花などの急速に生長する部分で、この部位に同化産物が集積することが認められる。このような知見は、コムギ²²⁾、ラジノクローバ⁷⁾、サツマイモ¹⁵⁾などでも認められている。トマトのこのような生長点、花部への同化産物の集積は実験IIIのごとく低夜温の方が多き場合もみられ低夜温で同化産物の転流が抑制されると、これらの部位への集積がさらに多くなることが考えられる。この結果は、トマトの花芽分化時の低温(8℃以下)と草勢の旺盛な条件で同化産物が生長点に集積し乱形果、奇形果を誘発するという報告²³⁾¹⁴⁾をうらづけるものである。

根部への¹⁴Cの転流は実験I~IVを通じていずれも夜温の高い方が多くなるが受容器官としては小さく¹⁴CO₂の全葉同化処理では全¹⁴Cの根への分布割合は3~8%であり生育ステージが進むとさらに少くなる傾向がある。

茎は受容器官としては根より大きく葉から転出した全¹⁴Cのうち果実につく量を受容している。田中ら²⁷⁾は茎のsink能は弱く通導器官としての働きが大きいとしているが、¹⁴Cのとりこみ後、4時間、16時間経過した時点では茎は通導器官としての働きからみて転流中であることが考えられるが、転流が完了したとみられる4日後(63時間)においても、茎にかなり高い比放射能と分布

割合を示したことから、茎のsink能は大きく、特に下部より上部の茎のsink能が強い傾向がみられる。また、夜温の影響をみると4日後では低夜温の方が茎の¹⁴Cの分布割合が高くなった。このような現象は、夜温5℃前後の低温でトマトを栽培すると節間が短く太くなることから⁹⁾低夜温では同化産物の転流が抑制され茎に蓄積するものと推察される。

トマトの同化産物の転流について特徴的なことは、同化された¹⁴Cの同化葉に残る割合が著しく多いことである。夜間、16時間、夜温12℃では葉に固定された全¹⁴Cの50~60%、5℃では70~80%が同化葉に残存し、2屋3夜(63時間)経過しても夜温12℃で25~35%、5℃では40~50%が同化葉に残存した。トマト葉に多量の同化産物が蓄積することは、Khanら¹⁰⁾も認めており、田中ら²⁶⁾は7月中旬の自然条件下で同化2日後における¹⁴Cの移行割合は50~60%で葉に残る割合が多く、葉はsourceであるとともに葉自身は大きなsinkであると報告している。このような同化物が葉に残存する割合は植物の種類によつて異なるようでサトウキビ⁴⁾では極めて少ないが、タバコ¹³⁾では同化葉における¹⁴Cの保持量は32%でその50%が澱粉であるとし、ラジノクローバ⁸⁾では若い葉ほど保持割合が大きく、壮葉、老葉でも¹⁴Cの15~20%が同化葉に保持されたと報告している。同化産物が葉に残存する割合は、夜温が低いほど多く、葉位別にみると末展開葉を含む上位葉に多くなった。このような結果は、ラジノクローバ⁷⁾やクワ²⁰⁾などでも認められている。トマト葉に同化産物が多量に蓄積する理由は不明であるが、トマトの葉は生長が長期間にわたることもその一因であることが推察される。

次に、¹⁴CO₂ 供与後、¹⁴Cの転流量を時間別にみると、供与後4時間でも実験I、IIでみられるように茎や果実にかなり転流していることが認められるが、Barker¹¹⁾らのパレイショの実験における¹⁴CO₂ 供与後、4時間内に葉身から塊茎へ多量の¹⁴Cが転流するという報告に比べると非常に少ない。また、¹⁴CO₂ 供与後4時間程度の短時間では夜温による影響は少なく、夜間16時間を経過すると4時間の場合より果実への転流は多くなるが茎へは果実への転流ほど増えず、かえつて少くなることもあり供与後、4時間程度では同化産物は茎を移行中なのであろう。

¹⁴CO₂ 供与後、夜間16時間を経過しても同化葉に残存する同化産物が多いため実験IVではさらにその後の葉からの¹⁴Cの減少量をみた。¹⁴CO₂ 供与後、一夜を経過した翌日の昼間、9時間に夜温12℃では¹⁴Cの葉からの減少量は前夜の61%、5℃では前夜の1.5倍以上の¹⁴Cが葉から減少した。この場合は呼吸によつて葉から系外に

出る量もあり全てが他の部位へ転流したものでないが、その後の葉からの ^{14}C の減少量が少いことから、 $^{14}\text{CO}_2$ を供与した翌日の昼間も前夜間と同程度、葉から他の部位へ転流することが認められる。 $^{14}\text{CO}_2$ 供与後、同化葉から ^{14}C の転流が完了するのは、タバコ¹³⁾³¹⁾などで24時間経過すると ^{14}C の転流は極めて少くなることを報告しており、この実験でも夜温 12°C では $^{14}\text{CO}_2$ 供与後、24時間で転流はほぼ完了するが 5°C の低夜温では他の部位へ移行したのは全 ^{14}C の78%で、48時間後まで ^{14}C の葉からの転出は続した。

次に実験Ⅱでおこなった葉位を変えた一葉に $^{14}\text{CO}_2$ を供与した時の同化産物の転流動態は各葉位により特徴的な転流を示す。すなわち、一葉に ^{14}C を供与した場合は、その処理葉の近くの受容器官に多く転流する傾向がある。 $^{14}\text{CO}_2$ を供与した第1花房直下葉からは、第1花房、根、下茎への転流が多く処理葉から上方への ^{14}C の転流は極めて少い。これに対して第2花房直上葉に $^{14}\text{CO}_2$ を供与すると第2花房、上茎に多く転流するが夜温が 12°C では処理葉から下方の第1花房、根、下茎への転流もかなり認められる。この場合、夜温 5°C では上葉の ^{14}C は上部の受容器官に溜る量が多く下方への移行は少い。この場合の供試個体は摘心をしたものであるが、実験Ⅲでは無摘心で第7花房開花期の個体の第3花房直下葉に $^{14}\text{CO}_2$ を供与すると処理葉から上部の葉への移行が下部の葉より多くなつたことから、ある葉位からの ^{14}C の移行は摘心や、葉位の違いによつても異なるものと考えられる。

同化葉から他の成葉への同化産物の移行については、同化葉自身は同化産物の大きな受容体であるが葉から葉への ^{14}C の移行は、実験Ⅱのように摘心し未展開葉のない場合は極めて少いが、実験Ⅲのごとく未展開葉を含む個体では、他の葉への移行は根への移行を上まわつた。葉から葉への ^{14}C の移行について、ラジノクロバ⁷⁾やクワ²⁰⁾などで出葉中の葉への転流は多いがすでに展開している成葉には少いという報告と一致する。

トマトの異なる葉位からの同化産物の転流動態については田中ら²⁷⁾は各花房に対する同化産物の供給については葉位間で分業が成立し、花房とこれに近接した一群の葉との間には source-sink 単位が成立しており、花房や同化葉を摘除するとある程度 source または sink の代行能力を持つがその能力には限界があるとし、Khan ら¹⁶⁾は1~19葉に与えた ^{14}C の各花房における分布状態を調べ、1~7葉の ^{14}C は第1花房へ、10~16葉は第2花房へ、19葉は第3花房へ移行する割合が多くなるが、各花房ともその着生位置よりかなり離れた葉位からも少量の同化

産物の供給を受けていると報告している。トマト以外の作物でも水稲²⁵⁾では上位葉からは穂に、下位葉からは根や分けつに分布し各葉位間で分業が成立しているとし、メロン¹¹⁾では果実より下の葉の ^{14}C は根に、果実より上で果実に近接した葉は果実に、さらに上の葉は孫蔓に移行し、無着果蔓の同化産物は他の蔓の果実へも転流することを認めている。このように sink 能の強さにより受容体よりかなり離れた葉位からも同化産物の供給を受け、また、sink や source の摘除により、その代行機能もあることから上位葉は上部の受容器官に下位葉は下部の受容器官という大きな分業関係はあるが、特定の sink-source の関係でなく、葉位間とそこに存在する受容器官の間における同化産物の需要と供給とのバランスによつて sink-source 関係は決まることが推察される。

以上、気温は同化産物の転流におよぼす影響は強く、気温が低下すると転流は抑制されるが、同じ低温でも、植物体を低温に順化させておくと転流抑制作用は軽減され、逆に急激な低温が与えられると転流阻害が著しいことが明らかにされている⁹⁾。関岡²¹⁾はカンショを用いて同化産物の転流、蓄積に対する地温、気温の関係を調べ、温度勾配は糖の転流に直接作用するのではなく、温度は糖から澱粉への転換や呼吸作用に影響し体内での濃度勾配を変え転流に関与するものと推論している。また、同化産物の転流は糖の濃度勾配にさからつておこなわれる場合もあり、転流は単なる物理的な拡散によるものではないとする意見もある⁹⁾。いずれにしても、同化産物の転流に関与する環境要因としては気温の影響は大きく、作物側からみれば、その作物の生育ステージ、sink の活性の強さと、その量的な大きさ、受容器官の着生位置とそこに同化産物を供給する葉位との関係、摘芽、摘心などの操作により転流動態は複雑に変化するものである。

摘 要

これら4つの ^{14}C -tracer 実験は、トマトに同化させた ^{14}C -同化産物の転流、分配と夜温及びその経過時間との関係を明らかにするためにおこなつた。

$^{14}\text{CO}_2$ 供与は全葉(実験Ⅰ、Ⅳ)と葉位の異なる一葉(実験Ⅱ、Ⅲ)におこなつた。夜温処理は 5°C と 12°C に4時間16時間に1回(実験Ⅰ、Ⅱ)と同じく 5°C と 12°C に15時間を4日間に3回おこなつた(実験Ⅲ、Ⅳ)。夜温処理後、各個体を器官別にわけて乾燥し、比放射能を液体シンチレーションカウンターで計測した。

1. いずれの実験においても、実験期間中、同化葉それ自身に残る同化産物は多く、葉に同化された全 ^{14}C -同化産物のうち夜温 12°C 、16時間では50~60%、夜温 5°C で

は70~80%が同化葉に残った。いつぼう、同化葉から他の成葉への転流は極めて少なかった。

2. 同化産物の転流は夜温が高く、その経過時間が長いほど果実、根への転流は多くなり、主な受容器官は果実、莖であり、sink 活性の高いのは果実、生長点、花であった。

3. 同化葉からの同化産物の転出は翌日の昼間も続き、夜温12°Cでは同化処理後、24時間、夜温5°Cでは48時間まで継続し、主に果実に分配された。

4. 下位葉の同化産物は下位の果実や根に分配され、上方の受容器官への転流は極めて少い。これに対して、上位葉の同化産物は上方の果実に多く分配されるが下位の受容器官へもかなりの量が分配された。

5. トマトの同化産物の転流、分配は夜温の影響を強く受けるが、作物の生育ステージ、果実の着果状態、摘心などの影響も大きい。

謝辞 本実験を行なうにあたって分析手法の指導と実験施設を提供していただいた奈良県立医大の井上哲夫氏(現奈良教育大)に深謝の意を表す。

引用文献

1. BARKER, D.A. and J. MOORBY 1969. The transport of sugar, water, and iron into developing potato tuber. *Ann. Bot. N.S.* 33 : 729-741.
2. 藤村 良・森 俊人・伊藤純吉・藤本治夫 : 1964. トマト奇形果に関する研究 第2報. 育苗中の低温が奇形果の発生に及ぼす影響. *兵庫農試研報* 12 : 63-65.
3. _____・_____・_____・_____ : 1964. トマト奇形果に関する研究 第3報. 育苗中の低温処理時期と苗勢が乱形果の発生に及ぼす影響. *兵庫農試報* 12 : 66-69.
4. HARTT, C.E., H.P. KORTSCHAK, A.J., FORBES, and G.O. BURR 1963. Translocation of ^{14}C in sugarcane. *Plant Physiol.* 38 : 305-318.
5. HEWITT, S.P., and O.F. CURTIS. 1948. The effect of temperature on loss of dry matter and carbohydrate from leaves by respiration and translocation. *Amer. J. Bot.*, 35 : 746-755.
6. 久富時男・藤本幸平 : 1971. 低温期のトマトの生育調整に関する研究 第2報. 夜温, 土壌水分, 光量, 苗質および窒素施用量がトマトの生育, 収量に及ぼす影響—2⁶要因実験の1/2実施. *奈良農試研報* 3 : 37-54.
7. 星野正生・西村修一・大久保忠旦 : 1964. ラジノクロームにおける $^{14}\text{CO}_2$ の同化と同化産物の転流に関する実験. *日作記* 33 : 130-134.
8. _____・松本ふみえ・_____ : 1971. ラジノクロームにおける $^{14}\text{CO}_2$ の同化と同化産物の転流に関する実験 第5報. 葉の age と同化および同化産物の供給能力との関係. *日作記* 40 : 468-471.
9. 星野正生・北條良夫 : 1971. 作物における光合成産物の転流過程. *農業技術* 26 : 314-320.
10. 福呂和之・久富時男・植田義実・卜部昇治・藤本幸平・宮本重信 : 1971. トマトの低温期栽培における生育制御の基準設定に関する研究 第4報. 早朝加温と空気流動がトマトの生育・収量におよぼす影響. 昭和46年度園芸学会(秋)要旨.
11. 伊東 正 : 1974. メロンにおける sink-source balance と光合成産物の移行, 果実の肥大品質. 昭和49年度園芸学会(春)要旨.
12. 稲山光男・村上 高 : 1973. キュウリの光合成産物の動態に及ぼす温度の影響 第1報. 種々の気温で育苗した苗の $^{14}\text{CO}_2$ とりこみと光合成産物の分配. *園学雑* 42 : 27-34.
13. JONE, H.E., R.V. MARTIN and H.K. POTTER, 1959. Translocation of ^{14}C in tobacco following assimilation of ^{14}C carbon dioxide by a single leaf. *Ann. Bot.*, 23 : 96-103.
14. 金目武男・板木利隆 : 1966. トマト奇形果対策に関する試験 第1報. 育苗時の温度並びに苗勢が奇形果発生におよぼす影響. *神奈川園試研報* 14 : 57-64.
15. 加藤真次郎・小林宏信・北條良夫 : 1971. 甘しょ一葉挿し植物における ^{14}C -光合成産物の転流. *日作記* 41 : 147-153.
16. KHAN, A.A. and G.R. SAGAR 1966. Distribution of ^{14}C -labelled products of photosynthesis during the commercial life of the tomato crop. *Ann. Bot. n.s.* 30 : 727-743.
17. LEOPOLD, A.C. and S.L. LAM 1960. A leaf factor influencing tomato earliness. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 76 : 543-547.
18. 森 俊人 : 1972. 低日照時のトマトハウス栽培と最適環境制御. *農および園* 47 : 753-759.
19. 森岡和之・久富時男 : 1973. 良品多収のための環境管理基準の設定に関する研究 第1報. 長期栽培トマトに対する CO_2 施用の影響について. *奈良農試研報* 5 : 12-17.

20. 佐藤光政：1971. 桑の生長過程における ^{14}C - 同化産物の転流について. 日作記 40 (別号2) 152回講演要旨.
21. 関岡 行：1963. 2・3根菜類における同化物質の転流・蓄積におよぼす環境要素の影響 I. 物質の転流・蓄積と地温および気温との関係. 九大農学芸誌 20 (2) : 107—118.
22. SROY, V. 1963. The translocation of ^{14}C -labelled photosynthetic products from the leaf to the ear in wheat. *Plant. Physiol.* 16 : 851-866.
23. SWANSON and R.H. BOHNING 1951. The effect of petiole temperature on the translocation of carbohydrate from bean leaves. *Plant Physiol.*, 26 : 557-564.
24. _____ and J.B. WHITNEY 1953. Studies on the translocation of foliar applied P^{32} and other radioisotopes in bean plants *Am. J. Bot* 40 : 816-823.
25. 田中 明：1958. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究(11)各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動. 土肥誌 29 : 327-333.
26. _____・藤田耕之輔：1972. トマトの果実生産における Source と Sink の相対的意義の解析 第2報. 異なる葉位の葉からの ^{14}C の移行. 土肥誌 43 : 77—80.
27. _____・_____：1972. トマトの果実生産における Source と Sink の相対的意義の解析 第3報. 葉または花房切除が光合成産物の移動および乾物生産におよぼす影響. 土肥誌 43 : 423—428.
28. 土岐和久：1970. 施設栽培における適環境条件の生理的研究 第1報. キュウリの栽培温度の解析. 千葉農試研報 10 : 62—72.
29. WENT, F.W. 1944. Plant growth under controlled conditions. III. Correlation between various physiological processes and growth in the tomato plant. *Amer. J. Bot.* 31 : 597-618.
30. _____, and ENGELSBURG, R. 1946. Plant growth under controlled conditions VIII. Sucrose content of the tomato plant. *Arch. Biochem.* 9 : 187-200.
31. YAMAMOTO, T. 1967. The distribution pattern of carbon- 14 assimilated by a single leaf in tobacco plant. *Plant & Cell Physiol.*, 8 : 353-362.

Summary

Four ^{14}C -tracer experiments were conducted in attempt to make clear the influence of the night temperature and the night periods on the translocation and distribution of ^{14}C -labelled photosynthetic products in tomato plant after $^{14}\text{CO}_2$ feeding. $^{14}\text{CO}_2$ was administered to the whole plants (Exp. I and IV) and to a single leaf on the different nodes (Exp. II and III). Each of Exp. I and II was carried out once at 5°C and 12°C night temperature for 4 hours and for 16 hours respectively. In Exp. III and IV respectively, the materials were thus treated for 15 hours running a night and the treatment went on for three nights. After these treatments, the materials were divided into each organ which was dried and their radioactivity per dry weight was measured by a liquid scintillation counter.

The results are as follows:

1. In all the experiments, the ^{14}C -fed leaves retained in them large amount of ^{14}C -assimilates, which did not export into the other organs during the periods of these treatments. About 50-60% of the total ^{14}C -assimilates (after 16 hours at 12°C) and 70-80% of them (after 16 hours at 5°C) remained in the ^{14}C -fed leaves, while ^{14}C -assimilates in a single leaf were scarcely translocated to the other mature leaves.

2. The translocation rate from leaves to fruits and roots went up higher at 12°C night temperature than at 5°C , and the longer the night period after $^{14}\text{CO}_2$ feeding became, the more it increased. In those cases, the main receiving organs of ^{14}C -assimilates

were fruit and stem, and high radioactivity was detected in fruit, growing point and flower.

3. The outflow of ^{14}C -assimilates from the ^{14}C -fed leaf to the other organs continued for 24 hours at 12°C night temperature and for 48 hours at 5°C after $^{14}\text{CO}_2$ feeding. And those were distributed mostly in the fruits.

4. ^{14}C -assimilates of lower leaves were distributed mostly in fruits and roots at lower parts and less in upper receiving organs. On the other hand, ^{14}C -assimilates of upper leaves were distributed mostly in the upper fruits near the ^{14}C -fed leaf, however they were considerably exported to the lower receiving organs.

5. The translocation and distribution of photosynthates in the tomato plant were strongly affected by growing stage, and the amount of setting fruits and pinching as well as by night temperature.