

2・3根菜類における同化物質の転流・蓄積によぼす環境要素の影響(I)：物質の転流・蓄積と植物体内の部分温度との関係

関岡，行
九州大学農学部

<https://doi.org/10.15017/21610>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 20 (2), pp.107-118, 1963-01. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

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

関 岡 行

The effect of some environmental factors on the translocation
and storage of carbohydrate in the sweet potato,
potato and sugar beet

(I) Relationships between the translocation of
carbohydrate or radioisotopes and the
soil and air temperatures

Hakobu Sekioka

緒 言

作物は葉による同化物質と根からの養・水分を用いて生長するが、その際余剰の物質は貯蔵物質としてそれぞれの器官に蓄積する。これらの貯蔵物質を利用しようとする作物の多収のためには、収穫期により多くの貯蔵物質が蓄積するような生育条件を明確にすることがのぞましい。貯蔵物質の多寡には作物個々の遺伝的性質が関係するとともに、さらには環境要素が極めて大きな役割を果たしていることはいままでの間。

炭水化物は作物の生長および貯蔵に使用される物質の主な物質であるが、この炭水化物はまず葉における光合成作用により作り出され、次に生長および貯蔵の盛んな組織へ転流し、さらに他質物に転換されて生長および貯蔵に用いられる。

また、作物の栄養生長から生殖生長への転換に際しては、一般に窒素化合物と炭水化物とが拮抗的に用いられるとされている。従つて、炭水化物利用を効果的にするためには最終結果としての炭水化物の蓄積のみにとどまらず、光合成および転流をもあわせて研究することが必要であり、さらに、生長と蓄積との間の炭水化物の分配関係をも把握する必要がある。

植物体内では葉で生育された糖その他の生産物は篩管を通つて他の諸器官に転流する。

これらの物質の転流速度、転流量および転流方向を

決定するのは物質を合成し供給する組織とそれを消費または貯蔵する組織との間の糖の濃度勾配が主因であり、その他に温度、酸素、水および生長物質などが関係する。²²⁾

温度は作物の生育を始め、多くの生理作用に最も大きく作用する環境要因とされている。

物質の転流に関しても温度との関係を調べた研究は比較的多いが、その最適温度については種々の意見がある。

Went (1944)²⁴⁾ は、トマトでの糖の転流は 26.5°C では少なく、温度の低下とともに転流は増加し、8°C で最も多くなることを明らかにしている。

Went and Engelsberg (1946)²⁵⁾ はトマトを暗所に 12 時間、8°, 17° および 26°C に保ち、植物体各部分の蔗糖含有量を測定し、糖転流率は低温度の場合ほどよいことを明らかにしている。

このように糖の転流は低温度においてよいとした報告のほかに、20°C ~ 30°C の範囲において最もよいとした報告がある。

Hewitt and Curtis (1948)¹⁷⁾ は 4°, 10°, 20°, 30° および 40°C の暗所に 13 時間おいたトマト、菜豆およびトウワタが転流と呼吸によつて葉から失う乾物量および炭水化物量を測定した。その結果、葉からの転流は温度上昇とともに増加し、20° および 30°C の範囲で最大となることを明らかにしている。また、低温

の場合、根に糖蓄積が多いのは転流が多いためでなく、呼吸や生長に用いられる量が少ないためであると論じている。

Schumacher (1933)²⁹⁾は篩管での物質移動の研究に螢光物質の fluorescein を使用し、植物全体が 20° から 30°C に保たれた時には 20 ～ 30 cm/hr. の速さで移動する。しかし、1° から 4°C に保たれた時には 1 ～ 3 cm/hr. の速さに低下することを明らかにしている。

上述のように、物質転流の最適温度に関しては未だに意見が一致していないが、温度が物質の転流量および速度に関係することは明らかである。さらに温度が転流方向にも影響をおよぼすのではないかと考えられるが、西内 (1945)²⁴⁾は、溶質は高温の部分から低温の部分に移動しやすく、水分は同時に逆の方向に移動しやすくなり、その移動は温度傾斜の大きいほど速やかであるとの温度係効果説を出している。従つて、温度は転流量、転流速度、さらに転流方向にも影響すると考えられる。しかし転流の適温、転流方向など未解決の点がみられる。本研究においては甘藷を供試し同化物質転流の最適温度を明らかにするとともに、温度傾斜と転流方向との関係を追求する目的で地温の影響を気温のそれと同時に実験した。

I. 甘藷の葉からの乾物および炭水化物の転流・呼吸による消失におよぼす温度の影響

同化物質の転流におよぼす温度の影響に関しては比較的多くの研究がなされているが、転流の適温に関し

ては既述のように、例えば Went 一派の如く低温 (8°C) にあるとする説や、^{18,34,35)} Curtis 一派の如く高温 (20° ～ 30°C) にあるとする説^{11,12,17)} とがあつて未だ意見の一致がみられない。

また、温度は植物体における同化物質の転流そのものに影響をおよぼすと同時に、呼吸作用による物質消費にも影響をおよぼす。従つて、転流と温度との関係をみる際に、単に物質の増減のみから結論を導きだすことは不可能である。転流の最適温度に関して、従来の諸説が統一を欠くのは、こうした点に対する考慮が払われていなかったことによるものと思われる。

そこで、著者は葉からの乾物消失を転流によるものと、呼吸によるものとに区別し、温度との関係を明確にする目的で甘藷を材料とし対葉法の変法¹⁵⁾を適用して実験を行なつた。

実験材料及び方法

実験材料には甘藷農林 2 号を供試した。全長 18 cm、葉数の等しい苗を 2 週間砂耕し、それらの中から発育のそろつた苗を選び、直径 9 cm、深さ 9 cm のアルミニウム製ポットに 1 個体ずつ移植した。1 週間後、さらにこれらの中から生育のそろつたポットを選び出し実験に用いた。Fig. 1 に示すように、各温度処理区は完全植物と温度処理に先だち葉、上茎、下茎および根の 4 部分に切断し、水を入れたシャーレに挿した切断植物との 1 組からなり、各組 20 個体の植物を用いた。

実験材料は暗所で 10°, 20°, 30° および 40°C で 15 時間、温度処理を行なつた後、完全植物を葉、上茎、下茎および根に切断し、切断植物とともに 85°C で乾

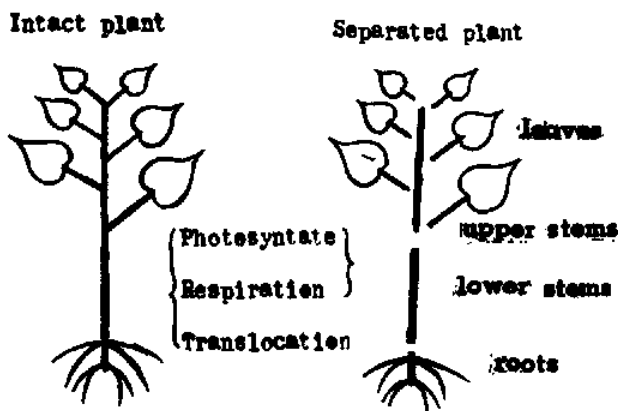


Fig. 1. Drawing to indicate method of treatment for studying the effect of temperature on the translocation of solutes in sweet potato.

燥し乾物量を測定した。次に粉末にし、炭水化物の分析を行なった。分析にはジニトロ・サルチル酸による比色定量法を用いた。

葉からの転流および呼吸による乾物消費量の測定には対葉法の変法¹⁵⁾を用いた。葉からの全消費乾物量は処理開始直前の葉の乾物量と処理終了後の完全植物の葉の乾物量との差として、また葉からの乾物転流量は切断植物の葉の乾物量と完全植物の葉の乾物量との差として把えうる。即ち、切断植物の葉は処理前に切断されているため、同化物質の転流がなく、同化物質は葉自身の呼吸のみにより消耗し乾物量を減少する。しかるに完全植物の葉は転流および呼吸によつて同化物質を消耗し乾物量を減少する。従つて両植物の葉の乾物量の差は転流量として表わされる。

葉からの呼吸による消費乾物量は全消費乾物量と転流による乾物量との差で表わされる。

植物体各部分での炭水化物含量の増減は完全植物では転流および呼吸の総合結果として表われ、一方切断植物においては処理開始直前に各部分に切りはなしているため、転流は起らず呼吸による消耗のみが表われてくる。

従つて、両者の差から転流による炭水化物の増減を把えうる。実験は 10 反復行なつた。

実験結果

甘藷の葉における乾物量の変化を転流と呼吸による消耗にわけ、温度との関係を示したものが Fig. 2 で

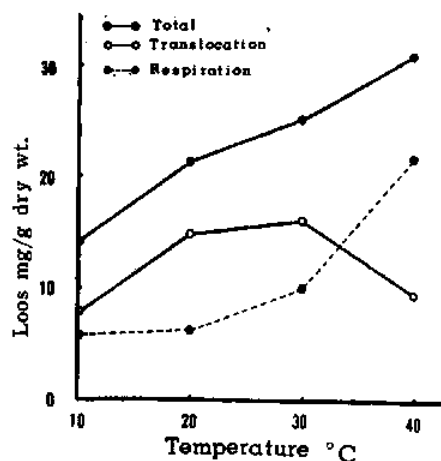


Fig. 2. Effect of temperature on losses of dry matter over a 15-hr. period of darkness from sweet potato leaves, 1958.

ある。

夜間、15時間の間の甘藷の葉からの乾物消費量は温度の上昇とともに増加している。

これを転流および呼吸による消費にわけると、葉からの転流による乾物消失量は 20° ~ 30°C の範囲で最も多くなっている。呼吸による消耗は温度の上昇とともに増大し、40°C ではきわめて多くなる。

次に転流および呼吸による植物体各部分の炭水化物の増減と温度との関係を示したものが Fig. 3 である。

完全植物での各部分の炭水化物の増減は転流および呼吸の総合結果である。一方、切断植物での炭水化物は呼吸による消耗のみの結果である。従つて両者の差から炭水化物の転流量を把えうる。

葉からの炭水化物の転流は乾物の結果と同じく 30°C 前後で最もよくなる傾向を示す。しかしながら、根で

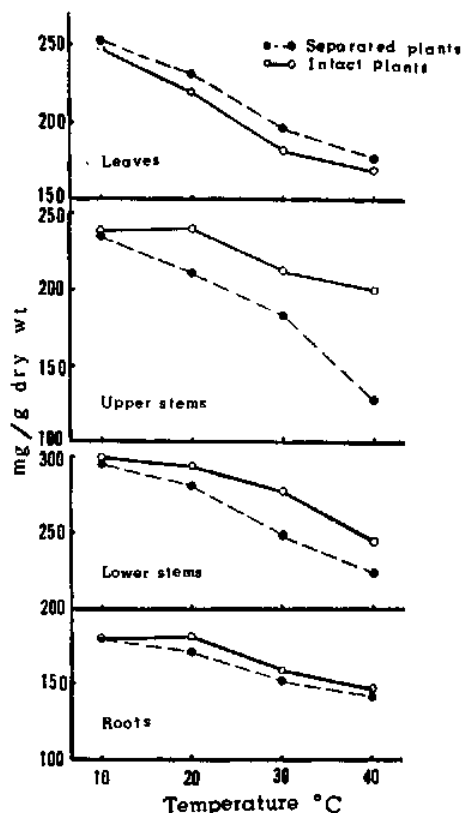


Fig. 3. Effect of temperature on carbohydrate contents of leaves, upper stems, lower stems and roots of sweet potato plants maintained intact or separated into four parts and held for 15-hr. in darkness, 1958.

炭水化物の増加は 20°C で最も多くなっている。植物体各部分の炭水化物含有量は完全植物においては、根および上茎では 20°C で最高である。しかしながら、切断植物においては 10°C で最高となり、温度の上昇とともに炭水化物含有率はいずれも減少する。

考 察

夜間、15時間の間に甘藷の葉から消失した乾物量は 10°C から 40°C の範囲では温度の上昇とともに増加する。葉からの乾物の消失は他器官への転流によるものと葉自身の呼吸によるものとに区別される。ここで呼吸による消耗を考慮すると、転流によつて消失したものは 30°C で最大となる。これらの結果はトマト、菜豆およびトウワタを用いて葉からの転流と温度との関係を研究した Hewitt and Curtis の報告¹⁷⁾とよく一致する。

葉からの転流を炭水化物の量で測定しても転流と温度との関係は乾物での結果と全く一致する。このことは Went and Engelsberg の報告³⁵⁾とは異なるが、彼等の結果は呼吸による消耗を考慮していないからと推論される。要するに葉からの炭水化物の転流は 30°C 前後で最もよいと言える。

一方、根における炭水化物の蓄積は 20°C で多い。しかもこの場合の蓄積は完全植物の根での炭水化物含量と切断植物の根での炭水化物含量との差として表わされた蓄積であるから、根への炭水化物の転流（転入）は 20°C で多いことを示す。

先にのべた葉からの炭水化物の転流（転出）が 30°C で多い事実を併せ考えると、葉と根で炭水化物の転流に関しその適温が異なり、葉では 30°C というむしろ高温側に、根では 20°C というむしろ低温側に存在する。このように適温が異なることは興味のあることであるが、その原因はいつたい何であろうか。

葉からの炭水化物の転流はむしろ転出とし、根への転流は転入とすべきであろう。同じ転流と言っても、両者の間には“流れ出る”と“流れ入る”とのちがいが存在する。しかし、単にこれだけのちがいがいならば、転流現象を異なつた器官の側からみるという観点のちがいにすぎないが、転流がおこりつつある実際の場においては、更に一つの大きな条件として糖の濃度勾配が関与するのである。即ち、少なくとも送り出す器官では糖の濃度が高く、受けとる器官ではそれが低いという条件が成立しなければ、炭水化物の転流は起こり得ない。

このばあいの炭水化物を送り出す器官である葉においては、同化澱粉が転出する際に糖化作用が盛んとなり糖の濃度が高くなるであろう。一方また、受けとる器官においては、転入して来た糖が縮合して澱粉の形にかえられ、その結果、糖はそこに停滞することなく低濃度に保たれるであろう。つまり後者では糖の転入速度は縮合過程によつて大きく左右されるものと考えられる。このようにみるならば、葉からの炭水化物転出の適温が 30°C であることは、糖化作用またはそれに関連した過程の適温が 30°C であることを意味し、また、根への炭水化物転入の適温が 20°C であることは縮合またはそれに関連した過程の適温が 20°C であることをいみするであろう。つまり相似た転流の過程でありながら、葉と根とでその適温が異なるのは炭水化物の糖化と縮合の過程に対する適温が異なるからだと理解できるであろう。

次に、温度と甘藷での炭水化物の転流・呼吸との関係から炭水化物の利用を考察すれば、10°C では転流・呼吸ともにきわめて少なく、20°C では下茎での蓄積は比較的少なく根での呼吸による消耗も少なく有効な炭水化物の利用がなされている。30°C では物質代謝は盛んになるが、呼吸による消耗も同時に増加する。40°C では呼吸による消耗が著しく増大し、かつ転流も低下し、炭水化物の利用は不良となるといえる。

摘 要

1. 夜間 15 時間の間に、甘藷の葉から転流および呼吸によつて消失する乾物量は、10°C から 40°C の範囲においては、温度の上昇とともに増加した。
2. 葉自身の呼吸による消耗を考慮すれば、葉から転流によつて消失する乾物量は温度の上昇とともに増加し、30°C で最大となつた。
3. 葉からの炭水化物の転流（転出）は 30°C で最大となつた。しかしながら、根での炭水化物の増加（転入）は 20°C で最大となつた。

II. 甘藷の 1 葉に与えた P³² の移動・分布におよぼす地温および気温の影響

植物体内での同化物質の転流・蓄積に関しては転流速度、転流量および転流方向といったように詳細に研究されているが、^{2,10,13,19,38)} 篩管内での無機成分の移動

におよぼす温度の影響については同化物質のように十分に研究されていない。

現在までの無機物質移動の研究によると、葉に与えた無機物質は同化物質と同じく篩管を経て下降すること、^{4,5,7} P³² は同化物質転流の最大のとき最も多く移動すること、⁹ さらに糖は磷酸エステル形で転流することなどが明らかにされている。

そこで著者は炭水化物代謝に重要な磷酸を使用し、その移動に対する温度の影響をしらべ、複雑な炭水化物の転流・蓄積の過程を解析する手段とする目的で本実験を行なった。

実験材料および方法

実験材料は甘藷農林2号を供試した。全長 18 cm、茎の基部から第1葉節まで 9 cm、葉数の等しい苗を砂耕し、1週間後に発育のそろった苗を壇壤土を入れたポットに1個体ずつ移植した。

P³² は最も古い葉の裏面から直径 1 cm の口紙を通して M/50 KH₂PO₄ aq の形で 2.5 μc 与えた。気温をそれぞれ 10°, 20°, 30° および 40°C に保った。地温処理区の地上部温度は 21.7°C であり、気温処理区の地温はほぼ気温に等しかった。次に Fig. 4 に示すように、収穫した後、根、下茎、上茎および葉の4部分にわけ 80°C で乾燥して乾物量を測定した。これらの乾物を 500°C マッフルで灰化し、その中の radioactivity を G. M-counter で計数した。

実験結果

甘藷の1葉から吸収された P³² の Total activity および植物体各部分での P³² の分布・蓄積を示したものが Table 1 および Table 2 である。

Table 1. Effect of soil temperature on the translocation of radiophosphorus from one leaf to the other parts of a sweet potato plant, 1958.

Plant parts	Soil temperature			
	10°C	20°C	30°C	40°C
	cpm	cpm	cpm	cpm
Roots	123.9	243.1	302.3	407.5
Lower stems	185.3	174.6	139.2	269.2
Upper stems	60.3	55.0	48.4	47.0
Leaves	40.7	75.0	52.1	65.6
Total activity (cpm)	410.2	547.7	542.0	789.3
Dry weight (mg)	969.9	1019.7	997.8	995.5
Total activity (cpm/g)	423.0	537.1	543.2	792.9

Room temperature 21.7 ± 1.2°C

Average of ten plants.

Table 2. Effect of temperature on the translocation of radiophosphorus from one leaf to the other parts of a sweet potato plant, 1958.

Plant parts	Temperature			
	10°C	20°C	30°C	40°C
	cpm	cpm	cpm	cpm
Roots	31.4	179.1	585.4	178.3
Lower stems	26.6	157.5	304.9	208.1
Upper stems	23.5	55.9	207.3	51.2
Leaves	40.7	108.5	171.1	55.6
Total activity (cpm)	122.2	501.0	1268.6	493.2
Dry weight (mg)	1029.7	1072.1	933.3	1016.1
Total activity (cpm/g)	118.6	467.3	1359.3	485.4

Average of ten plants.

地温処理区での total activity は地温上昇とともに増加し、40°C の場合に最高となる。

気温処理区での total activity は温度上昇とともに高くなるが、地温処理区と多少異なり 30°C の場合に最高となつている。

Total activity は、換言すれば、P³² の吸収量である。従つて P³² の吸収量は気温処理区の 30°C で最高となり、10°C で最低となる。

植物体各部分での P³² の蓄積は地温処理区・気温処理区ともに大体根で最高となる。気温処理区では地温処理区に比べ葉に比較的多くなつている。

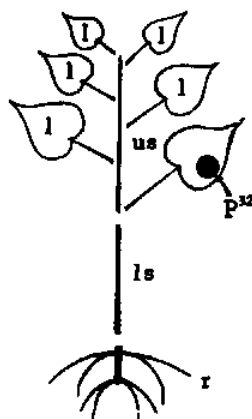


Fig. 4. Plant fractions assayed for radioactivity following a 15 hr. translocation period.

l=leaf us=upper stem
ls=lower stem r=root

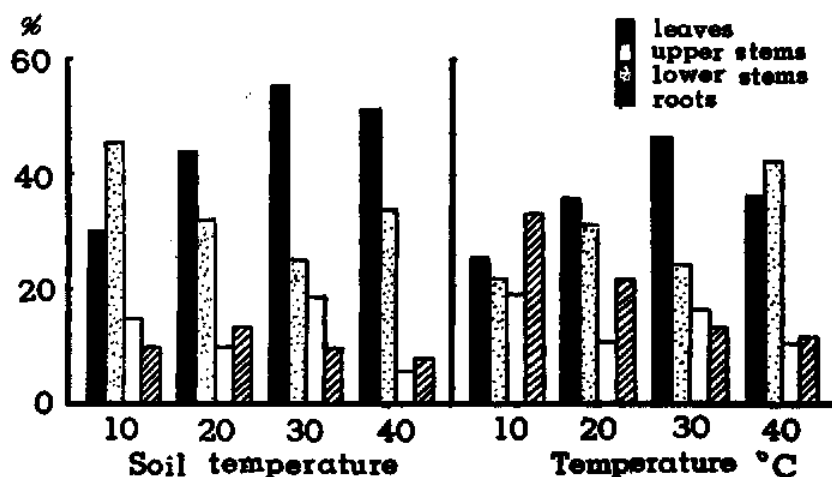


Fig. 5. Effect of temperature on the distribution of P^{32} in roots, stems and leaves of a sweet potato following a 15 hours translocation period, 1958. Percent of radioactivity (cpm) of each plant parts.

植物体各部分への P^{32} の移動・蓄積と温度との関係を検討するために P^{32} 蓄積量を比数で示したものが Fig. 5 である。

根での P^{32} 蓄積割合は地温処理区・気温処理区ともいずれも温度上昇とともに増加し、 30°C で最もよくなるが、地温処理区の場合が同じ温度で比べるといずれも高い蓄積割合を示している。一方、葉での蓄積割合は根の場合とは逆に気温処理区の方でいずれも高くなり、 10°C の場合に最も高く温度上昇とともに順次低下している。

次に単位乾燥重量に対する count 数を基準とした

Table 3. Effect of temperature on the translocation of radiophosphorus from one leaf to the other parts of a sweet potato plant, 1958.

Plant parts	Soil temperature			
	10°C	20°C	30°C	40°C
Roots	37.0	56.5	64.6	59.0
Lower stems	40.2	26.1	20.2	29.0
Upper stems	17.8	12.1	10.2	8.1
Leaves	5.0	5.3	5.0	3.9

	Temperature			
	10°C	20°C	30°C	40°C
Roots	42.1	53.8	52.0	51.5
Lower stems	20.7	26.9	25.0	30.5
Upper stems	22.7	11.5	16.3	12.8
Leaves	14.5	7.8	6.7	5.2

Percent of radioactivity (cpm/g) of each plant parts.

植物体各部分での P^{32} の蓄積割合を示したものが Table 3 である。

この結果は植物体当りの count 数を基準とした第 5 図の蓄積割合と大差ないが、根での蓄積割合は高くなり、葉では著しく減少している。しかし、気温処理区の根での蓄積割合は 20°C の場合に最も高くなっている。

考 察

Table 1, Table 2 に示すように甘藷の 1 葉に与えた P^{32} は主として下方に移動し、根に多く蓄積する。 P^{32} の下方への移動は同化物質と同様に篩管を通り、^{4,5} さらに、同化物質の転流の最大のときに最も盛んであることが明らかにされている。⁵⁾ それ故に、甘藷の同化物質は主として根へ転流し蓄積するものと考えられる。

P^{32} の植物体内での蓄積割合は、Fig. 6 に示すように、地温・気温両処理区とも根では 30°C の場合に最も高くなっている。このことは、すでに本研究・I で明らかにした根への炭水化物の転入が 20°C 前後でよいという現象とはいささか趣を異にしている。

このように炭水化物と炭水化物代謝に重要な磷酸とで根への転流（転入）の適温が異なるのは興味ある現象である。その原因はさておき、著者はこれらの 2 つのことがらの関連を次のように推論するものである。

Biddulph and Cory⁶⁾ によれば、 P^{32} は無機磷酸あるいは糖の磷酸エステルとして移動するとされてい

る。一方、同化物質は sucrose の形で根に転流し澱粉を形成することが明らかにされている。³³⁾ また、甘藷では澱粉が多く形成される部位には phosphorylase が強く分布することが明らかにされている。¹⁾ そこで転流してきた糖が根において glucose-1-phosphate から澱粉へと縮合される際、^{1,10)} 当量の無機磷が遊離してくる。この無機磷がある量蓄積されれば、反応は平衡に達し、澱粉生成は進行しなくなる。このことは糖の濃度勾配を低下させ、根への糖転入の減少へと作用する。つまり、30°C では根に無機磷が多量に集積し、糖の転入を妨害するし、20°C では無機磷の集積が少ないので糖の転入が円滑になると推論するものである。

Fig. 6 から明らかなように、地上部と地下部とを同一温度に保った植物（気温処理区）では、 P^{32} は葉および上茎に比較的多く移動・蓄積する。しかしながら、地上部と地下部との間に温度勾配の生じた植物（地温処理区）では、温度の高い根に多く移動・蓄積している。西内²⁴⁾は溶質は高温の部分から低温の部分に移動すると言っているが、甘藷では磷酸は全く逆に低温の部分から高温の部分に移動する傾向を示す。

摘 要

1. 甘藷の1葉に P^{32} を与え、暗所で15時間、地温および気温をそれぞれ 10°, 20°, 30° および 40°C に保ち、 P^{32} の移動におよぼす温度の影響を研究した。
2. P^{32} は主として下方に移動し根および下部の茎に多く蓄積した。この傾向は地温処理区において顕著であった。
3. 根での P^{32} 蓄積割合は地温・気温両処理区いずれも温度の上昇とともに増加し 30°C で最高となつたが、地温処理区の場合が同じ温度で比較するといずれも気温処理区より高い P^{32} 蓄積割合を示した。
4. 一方、葉での P^{32} 蓄積割合は根の場合とは逆に 10°C の場合に最高となり、温度上昇とともに順次低下を示した。

III. 甘藷の一葉に与えた sucrose- C^{14} の転流・分布におよぼす地温および気温の影響

同化物質の転流は同化組織と活発に生長あるいは貯蔵する組織との間の糖の濃度勾配により起るとされており、また環境要因としては温度に最も大きく作用されるとされている。

多くの報告は同化物質の転流には 20° ~ 30°C が

適温であるとしているが、^{9,12,17,20)} 一方、温度に無関係か、または低温ほど転流が多くなるとの報告もある。^{18, 22,34,37)} このような見解の相異は葉から転流してきたものと、組織において代謝反応の結果生じたものとの識別が化学分析では困難であること、呼吸による消耗を考慮していないことなどによるものと思われる。近年、同化物質は sucrose の形で篩管を下降することが明らかにされている。^{8,29,30,33)} そこで著者は sucrose- C^{14} を使用し、転流・蓄積と温度との関係を明確にし、炭水化物の転流・蓄積解明を試みた。

実験材料および方法

実験材料には甘藷農林2号を供試した。発根のそろつた苗をパーミキュライトとパーライトとを3対2に混合して入れた直径 9 cm、深さ 9 cm のアルミニウム製ポットに1個ずつ移植した。この材料を野口・菅原氏甘藷水耕液で5日間生育させ実験に用いた。

Sucrose- C^{14} は最も古い葉の裏面全面に展着剤を含んだ水溶液として 2 μ c (50 μ l) と与えられた。30分後に Sucrose- C^{14} を与えた材料を暗所で12時間、地温および気温をそれぞれ 15°, 20° および 25°C に保つた後に収穫し、加圧乾燥して radioautograph を作製した。次に植物体を根、下茎、上茎および葉の4部分にわけ、乳鉢で粉末にし、van Slyke Folch の湿式酸化法で炭酸バリウムの沈澱を作つた。^{22,23)} 測定には無限大の厚さの炭酸バリウム法を用い、2 π -gas flow counter を用いた。実験は 1960年7月12日に各2反復行なつた。

実験結果

1葉から吸収させた sucrose- C^{14} の植物体内分布・蓄積と地温および気温との関係を示したものが Fig. 6 の radioautographs である。

地温処理区・気温処理区いずれの場合にも C^{14} は根と若い葉および生長点に多く集積し、展開葉にはきわめて少ない。また、気温処理区においては、地上部がすべて 30°C である地温処理区とは異なつて、温度の上昇に従つて若い葉および生長点への蓄積が増加している。

このように C^{14} の分布は根と生長点に多くなることが明らかであるが、radioautographs では温度との関係が明確でない。そこで植物体を根、下茎、上茎および葉の4部分にわけて、radioactivity を測定したものが Table 4 である。

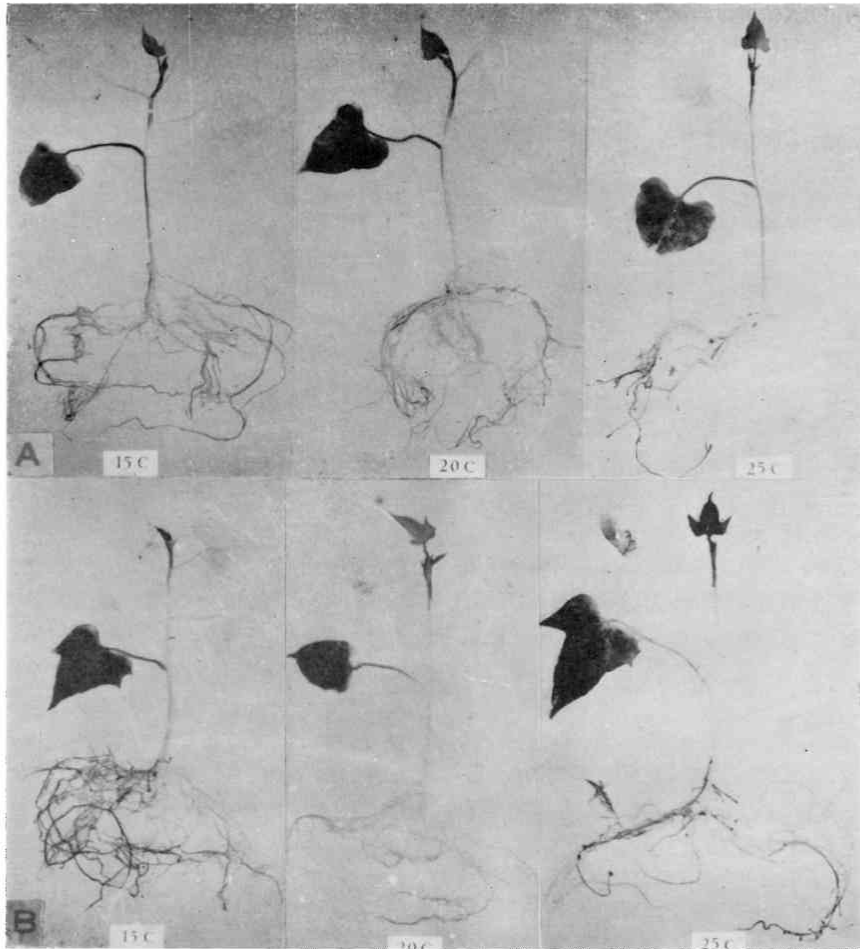


Fig. 6. Radioautographs demonstrating the distribution of C^{14} in the sweet potato plant 12 hr. after the application of sucrose- C^{14} to leaf.

A...The plants were held in darkness at soil temperatures of 15°, 20° and 25°C.

B...The plants were held in darkness at air temperatures of 15°, 20° and 25°C.

単位乾物量当りの count 数は、地温処理区ではいずれも上茎で最も多く、次に根に多くなっている。しかしながら、気温処理区では根で最も多くなっている。

植物体当りの count 数は地温・気温両処理区いずれも温度が低いと根に、高いと葉に多くなる傾向がみられる。Total activity は植物体への吸収量を示すが、厳密には植物体の呼吸による C^{14} の消耗を考慮する必要がある。植物体の呼吸による C^{14} の消失量は最初に与えた sucrose- C^{14} の activity と植物体内に留った activity、即ち、total activity と吸収されずに葉に残った activity の合計との差で示される。最初に与えた activity は 1 分間に 233,500 であり、植物

に留まった activity は地温処理の 15°, 20° および 25°C ではそれぞれ 66,006, 60,328 および 43,803 であり、気温処理区ではそれぞれ 104,029, 90,051 および 72,898 である。従って呼吸による消失は地温処理区が気温処理区に比しいずれも多く、また両区とも温度上昇とともに増大することがわかる。

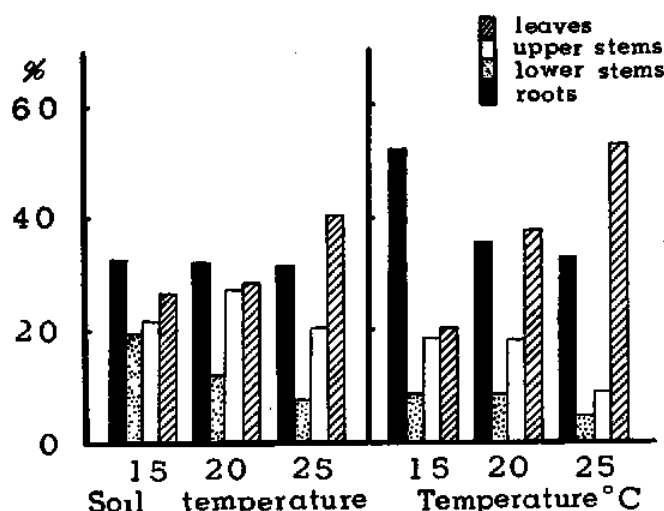
次に温度と C^{14} 転流・蓄積との関係を一層明確にするために、各部分での C^{14} 蓄積量を比数で示したものが Fig. 7 である。

根での蓄積割合は地温・気温両処理区ともいずれも 15°C で最も高くなり、温度上昇とともに減少しているが、特に気温処理区での根の C^{14} 蓄積割合が気温処

Table 4. Effect of temperature on the translocation of sucrose- C^{14} from one leaf to the other parts of a sweet potato, 1960.

Plant parts	Soil temperature			Air temperature		
	15°C	20°C	25°C	15°C	20°C	25°C
	cpm/100 mg dry wt.			cpm/100 mg dry wt.		
Roots	10133	9633	5600	20667	8533	13000
Lower stems	6100	3367	1833	4267	2687	2433
Upper stems	12467	17933	10367	9933	7540	8400
Leaves	3167	3567	3900	2600	3400	8933
	cpm			cpm		
Roots	6869	7705	5824	20254	5888	11590
Lower stems	4026	2895	1383	3115	1424	1703
Upper stems	4488	6550	3732	6556	3016	3155
Leaves	5541	6812	7488	6786	6261	18592
Total activity	20924	23963	18427	36711	16589	35020
Residual activity of Sucrose- C^{14} applied leaf	45082	36365	25376	67318	73462	37878

Room temperature 30°C.


 Fig. 7. Effect of temperature on the distribution of C^{14} in roots, stems and leaves of a sweet potato following a 12 hours translocation period, 1960. Percent of radioactivity (cpm) of each plant parts.

理区での割合よりいずれの温度でも高くなっている。

 一方葉での C^{14} 蓄積割合は逆に 15°C で最も低くなり、温度の上昇とともに高くなり、気温処理区の 25°C ではきわめて高くなっている。

考 察

Fig. 6 の radioautographs にみられるように、甘藷の1葉に与えた sucrose- C^{14} は生長点、未展開葉および根に多く分布し蓄積する。これは放射性物質を使用した他の研究結果とよく一致する^{8,9,14,23,25,26} 生長

点、未展開葉および根の部分はいずれも代謝作用が盛んで生長も旺盛であるから、炭水化物の需要も大きいはずである。こうした組織への炭水化物の転流が多いことは炭水化物の転流と生長に関係の深い生長物質との関連が推測される。事実、Mitchell and Brown²⁰ は 2,4-D の転流は低濃度の糖をもつ葉からは起らないことをみているし、また、Day¹⁰ は、2,4-D は同化物質が植物体内で転流するのと同じ方法で転流することを推論している。これらは著者の推論を支持するものであろう。

Fig. 7 にみられるように、葉に与えた sucrose- C^{14} の植物体各部分への蓄積割合は気温により強く影響され、温度の比較的低い場合には根に高くなり、温度の比較的高い場合には葉に多くなる。Went and Engelsberg²⁵⁾ は、トマトの葉の sucrose 含量は温度の高い場合に高いことをみとめているし、葉に sucrose を散布しトマトの生長を研究した Berrie²⁶⁾ は、17°, 20°, 23°C と温度上昇につれて地上部の生長が増大することをみとめている。これらの結果から考えると、温度が高くなると根への糖の転流は減少し、地上部にとどまり、地上部の生長に利用されやすくなるものといえよう。

本研究・I で炭水化物の葉からの転出は 30°C で多く、根への転入は 20°C で多くなることをみた。この事実と、本研究の結果との関係を考察すれば、次のようになるであろう：葉から転出された炭水化物は温度が高ければ、地上部にとどまる量が相対的に多くなり、地上部の生長に主として用いられ、また、温度が低いと地下部へ転入する量が相対的に多くなり、ここに蓄積されるものである。転出する際の温度が 30°C であるならば、転出量が多いのみならずその大部分が地上部、とくに若い葉や生長点に蓄積し、栄養生長が旺盛となる。そして地下部へふりむけられるべき量が少なくなるのみならず、地下部での転入量も少なくなつて蓄積生長はきわめて起りにくくなる。蓄積の相対量の多寡という点でみるならば、20°C という温度がよいが、こうなると葉からの転出の絶対量が減少する。要するに甘藷の根における炭水化物の蓄積に温度を媒介として関係する因子は葉からの転出、地上部と地下部との間の分配、および地下部への転入の 3 つが考えられる。

実際栽培において甘藷塊根の肥大生長が盛夏ではなくてやや涼しくなつた頃に起るのは上述のような 3 因子が関連しあつた結果であろうと推察される。

本研究では根における C^{14} 蓄積割合が地温・気温両処理区とも 15°C で最高となり、温度上昇とともに減少している。温度上昇とともに減少する点に関しては本研究・I と軌を一にするが、15°C で最高となる点は本研究・I の 20°C とかなりはずれている。従つて、根への炭水化物の転入はむしろ 15°C 乃至 20°C の間に最適温度が存在すると言つた方がよいであろう。

炭水化物の根への蓄積に対する温度関係が P^{32} のそれと、むしろ逆の関係にあることは、本研究・I でみた事実であるが、 C^{14} を用いた本研究の実験によつて

はつきりとうらづけられた。

摘 要

1. 甘藷の 1 葉に sucrose- C^{14} を与え、暗所で 12 時間、地温および気温をそれぞれ 15°, 20° および 25°C に保ち、その転流・蓄積におよぼす温度の影響を研究した。

2. C^{14} の転流は気温の低い場合には根の方向に多く、気温の高い場合には未展開葉および生長点に多くなつた。一方、地温の影響は気温ほどいちじるしくはなかつた。

3. 呼吸による C^{14} の消失は地温処理区が気温処理区に比較していずれも多く、また両区とも温度上昇とともに増大した。

4. 根での C^{14} 蓄積割合は地温・気温両処理区いずれも 15°C で最高となり、温度上昇とともに減少したが、特に気温処理区の場合が同じ温度で比較するといずれも地温処理区より高い C^{14} 蓄積割合を示した。

5. 一方、葉での C^{14} 蓄積割合は根とは逆に 15°C で最低となり、温度上昇とともに高くなり、気温処理区の 25°C で最高となつた。

IV. 要 約

甘藷における物質の転流・蓄積と気温および地温との関係を、対葉法による乾物量および炭水化物含有量測定並びに放射性物質の P^{32} および sucrose- C^{14} の利用によつて究明した。

甘藷の葉からの乾物および炭水化物の呼吸による消失は 10°, 20°, 30° および 40°C の暗所に 15 時間保たれた場合には温度の上昇とともに順次増大したが、転流による消失は 20°C から 30°C の範囲で最も多かつた。しかしながら、根に転流し蓄積した炭水化物は 30°C より 20°C においてより多かつた。

甘藷の 1 葉に与えた P^{32} は地温および気温をそれぞれ 10°, 20°, 30° および 40°C の暗所に 15 時間保たれた時には主に P^{32} を与えた葉節より下方の茎および根の部分に移動し集積した。根での P^{32} 蓄積におよぼす地温の影響は気温の影響よりも強く、さらに根での P^{32} 蓄積は両温度処理区とも 30°C において最高であつた。

甘藷の 1 葉に与えた sucrose- C^{14} は地温および気温をそれぞれ 15°, 20° および 25°C に保たれた時にはいずれも根および若い未展開葉・生長点に転流し蓄積し

た。根での C^{14} 蓄積割合は P^{32} のそれと異なり気温処理により強く影響され、両温度処理区とも 15°C で最高となり、温度上昇とともに減少した。しかしながら、葉での C^{14} 蓄積割合は逆に温度上昇とともに増大した。本研究を通じて、温度勾配は糖の転流に直接作用するものとは考えられないようである。温度は糖から澱粉への転換および呼吸作用などに影響して植物体内での濃度勾配をかえ、転流に関係するものと考えられる。

本研究を遂行するにあたり、研究の端緒を与えられた小島均名誉教授、ならびに懇篤なる指導を賜わった江原薫教授に深甚の謝意を表す。また、論文作成にあたり激励と助言を賜わった武田友四郎助教授に謝意を表す。

参 考 文 献

1. 相見雲三・西尾隆雄：甘藷における澱粉の形成と蓄積に関する細胞生理的研究。日作紀，24：184-185，1955，201-205，1956。
2. Ariez, W. H.: Transport of organic compounds. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 3: 109-130, 1952.
3. Berrie, A. M.: The effect of sucrose sprays on the growth of tomato. *Plant Physiol.* 13: 9-19, 1960.
4. Biddulph, O.: Diurnal migration of injected radiophosphorus from bean leaves. *Am. J. Botany* 28: 348-352, 1941.
5. Biddulph, O. and J. Markle: Translocation of radioactive phosphorus in phloem of the cotton plant. *Am. J. Botany* 31: 65-71, 1944.
6. Biddulph, O. and R. Cory: An analysis of translocation in the phloem of the bean plant using THO , P^{32} and C^{14} . *Plant Physiol.* 32: 608-619, 1957.
7. Biddulph, S. F., O. Biddulph and R. Cory: Visual indications of upward movement of foliar applied P^{32} and C^{14} in the phloem of the bean stem. *Am. J. Botany* 45: 648-652, 1958.
8. Bohning, R. H., C. A. Swanson and A. J. Linck: The effect of hypocotyle temperature on translocation of carbohydrates from bean leaves. *Plant Physiol.* 27: 417-421, 1952.
9. Chen, S. L.: Simultaneous movement P^{32} and C^{14} in opposite directions in phloem tissue. *Am. J. Botany* 38: 203-211, 1951.
10. Craft, A. S.: Movement of assimilates, viruses, growth regulators and chemical indicators in plant. *Bot. Rev.* 17: 203-284, 1951.
11. Curtis, O. F.: Studies on solute translocation in plant. Experiments indicating that translocation is dependent on the activity of living cell. *Am. J. Botany* 16: 154-168, 1929.
12. Curtis, O. F. and S. D. Herty: The effect of temperature on translocation from leaves. *Am. J. Botany* 23: 528-538, 1936.
13. Curtis, O. F. and D. G. Clark: An introduction to plant physiology. (McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1950)
14. Fujihara, A. and M. Suzuki: Studies on the carbon metabolism in the higher plant. II. Structural distribution of the carbon-14 absorbed through the leaf in the rice plant. *J. Agr. Res. Tohoku Univ.* 8: 89-97, 1957.
15. Goodall, D. W.: The distribution of weight change in the young tomato plant. II. Changes in dry weight of separated organs and translocation rates. *Ann. Bot. n. s.* 10: 305-338, 1946.
16. Hanes, C. S.: Reversible formation of starch from glucose-1-phosphate catalyzed by potato phosphorylase. *Proc. Roy. Soc. London, B.* 129: 174-208, 1940.
17. Hewitt, S. P. and O. F. Curtis: The effect of temperature on loss of dry matter and carbohydrate from leaves by respiration and translocation. *Am. J. Botany* 35: 746-755, 1948.
18. Hull, H. M.: Carbohydrate translocation in tomato and sugar beet with particular reference to temperature effect. *Am. J. Botany* 39: 661-669, 1952.
19. Kursanov, A. L.: Recent advances in plant physiology in the U.S.S.R. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 7: 401-436, 1956.
20. Masson, T. G. and E. J. Maskell: Studies on the transport of carbohydrate in the cotton plant. *Ann. Bot.* 42: 189-258, 1928.
21. Mitchell, J. W. and Brown, J. W.: Movement of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid stimulus and its relation to the translocation of organic food materials in plant. *Bot. Gaz.* 107: 393-407, 1946.
22. 三井進午・栗原淳：トレーサー法による尿素肥料中炭素の経根的吸収同化に関する研究。（第1報）植物体中 C^{14} 測定法と水稻、小麦による $(\text{NH}_4)_2\text{C}^{14}\text{O}$ 吸収の予備的試験。日土肥誌，28：439-443，1958。
23. Nelson, C. D. and P. R. Gorham: Translocation of radioactive sugars in the stem of soybean seedling. *Can. J. Botany* 35: 703-713, 1957.
24. 西内 光：温度系効果説。群芳園，京都，1949。
25. Rabideau, G. S. and G. O. Burr: The use of C^{18} isotope as tracer for transport studies in plant. *Am. J. Botany* 32: 349-356, 1945.
26. Rabideau, G. S. and L. W. Mericle: The distribution of C^{14} in the root and shoot apices of younger plants. *Plant Physiol.* 28: 329-333,

- 1953.
27. 関岡 行: 甘藷の葉に与えた P^{32} の移動蓄積におよぼす温度の影響. 日作紀, 29: 273-275, 1961.
 28. 関岡 行: 甘藷における Sucrose- C^{14} の転流蓄積におよぼす温度の影響. 日作紀, 30: 27-30, 1961.
 29. Schumacher, W.: Untersuchungen über die Wanderung des Fluoreszeins in den Siebrohren. Jahrb. wiss. Botan. 77: 685-732, 1933.
 30. van Slyke, D. D., J. Plazin and J. R. Weisiger: Reagents for the van Slyke-Folch wet carbon combustion. J. Biol. Chem. 191: 299-304, 1951.
 31. Swanson, C. A. and E. P. H. El-Shishing: Translocation of sugar in concord grape. Plant Physiol. 33: 33-37, 1959.
 32. Ulrich, A.: Influence of night temperature and nitrogen nutrition on the growth, sucrose accumulation and leaf minerals of sugar beet plant. Plant Physiol. 30: 250-257, 1955.
 33. Vernon, L. P. and S. Aronoff: Metabolism of soybean leaves. IV. Translocation from soybean leaves. Arch. Biochem. Biophys. 36: 383-398, 1952.
 34. Went, F. W.: Plant growth under controlled conditions. III. Correlation between various physiological processes and growth in the plant. Am. J. Botany 31: 567-618, 1944.
 35. Went, F. W. and R. Engelsberg: Plant growth under controlled conditions. VII. Sucrose content of tomato plant. Arch. Biochem. 9: 189-200, 1946.
 36. Went, F. W.: The effect of temperature on plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 4: 347-362, 1953.
 37. Went, F. W. and H. M. Hull: The effect of temperature upon translocation of carbohydrates in tomato plant. Plant Physiol. 24: 505-526, 1949.
 38. Zimmerman, M. H.: Transport in the phloem. Ann. Rev. Plant Physiol. 11: 167-190, 1960.

Summary

This paper gives the result of research made to find the influence of soil and air temperatures on the translocation of carbohydrate and foliar-applied radioisotopes in the sweet potato plant.

Respirational loss of dry matter and total carbohydrate from leaves of sweet potato increased progressively with each successively higher temperature when these plants were held in darkness (15 hr.) at 10°, 20°, 30° and 40°C. The optimal translocation losses of dry matter and carbohydrate from leaves occurred at 20°C to 30°C, but the increase of carbohydrate into the roots by translocation was greater at 20°C than at 30°C.

The absorption of P^{32} from one leaf of sweet potato increased progressively with successively higher temperature when plants were held in darkness (15 hr.) of soil temperatures of 10°, 20°, 30° and 40°C of air temperature. P^{32} was translocated mainly into the root and lower stem below the node of the treated leaf with P^{32} .

The effect of soil temperature on the P^{32} accumulation in the roots of sweet potato was generally greater than that of air temperature, especially the accumulation in the roots was greater at the soil temperatures of 30° and 40°C which were higher at the root temperature than at the temperature of leaf and stem.

When plants were held in darkness (12 hr.) at soil and air temperatures of 15°, 20° and 25°C respectively, sucrose- C^{14} applied on a single leaf was translocated mainly into the root and stem apex. In general, the effect of air temperature on C^{14} accumulation rate in the roots was markedly greater than that of soil temperature, and in the roots the C^{14} accumulation rate increased with decreasing air and soil temperatures, while in the leaves the rate decreased with decreasing both temperatures.