

## 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（III）：作物の生育および物質蓄積と温度との関係

関岡，行  
九州大学農学部

<https://doi.org/10.15017/22925>

---

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 21 (2/3), pp.131-148, 1964-12. 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(III)

作物の生育および物質蓄積と温度との関係

関 岡 行

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

III. Relationship between the growth behaviour  
or the storage of carbohydrate in crops and  
the temperatures.

Hakobu Sekioka

温度は作物の生育および分布を支配する重要な因子として詳細に研究されているが、多くは一定温度の下で行なわれた結果である。自然環境では温度は昼高く夜低い、即ち、昼夜変温となつている。この自然界で起こる昼と夜との周期的な温度変化を Went (1944)<sup>27)</sup> は thermo-periodicity と称し、昼温と夜温とを種々組合せトマトの生育の研究を始め、昼夜変温、特に低温は暗所に保つた時のみ効果があることを明らかにした。その後、昼夜変温の研究は、Camus and Went (1952),<sup>28)</sup> Ulrich (1952),<sup>29)</sup> Monselise and Went (1958),<sup>10)</sup> Raleigh (1959)<sup>17)</sup> および Younger (1959)<sup>32)</sup> により種々の作物で研究されてきた。その結果、作物の生育は夜温により強く影響され、低温では地下部の生育が良好となる事を明らかにした。

また、作物の生育におよぼす温度の影響は多くは土壤温度の作用にもとづくとの考えから、作物の生育におよぼす地温の影響についての研究も Nightingale (1934),<sup>13)</sup> Shanks (1949)<sup>22)</sup> その他<sup>9)</sup> によりなされてきた。

上述の如く温度の影響は詳細に研究されているが、物質の転流・蓄積の観点から化学成分をしらべ、地上部と地下部との間の炭水化物の利用割合と温度との関係を論じた研究は少ない。そこで第1報<sup>20)</sup> および第2報<sup>21)</sup> で明らかにした炭水化物の転流・蓄積と温度との関係を対比検討し、さらに、作物の生育に対する温度の影響をより基礎的に究明する目的で温暖作物として

甘藷を、冷涼作物として馬鈴薯およびビートを用いて実験を行なつた。

### I. 甘藷、馬鈴薯およびビートの 生育ならびに物質蓄積におよ ぼす昼夜変温の影響

変温と作物の生育反応に関する研究の中で同化物質の転流・蓄積の観点に立つて化学成分との関係を追求した研究は少ない。そこで地下部に貯蔵器官をもつ作物をえらび変温および恒温の影響をしらべたが、species のちがいに温度反応がどのように変わるかについても同時に究明する目的で、実験材料としては温暖作物の甘藷と冷涼作物の馬鈴薯およびビートとをえらんだ。また、ビートを材料として加えた理由は近年この作物の暖地栽培が注目され、有畜農業をとり入れた農業近代の一端を担うものとして栽培され始めた。従来は冷涼地作物としてののみ取扱われて来たので暖地での基礎研究は少なく、収穫期の温度上昇と含糖量の関係が問題化してきている。そこでこの点を明らかにする目的があつたからである。

#### 1. 実験材料および方法

材料としては甘藷 *Ipomoea Batatas* Lam. 農林2号、秋播馬鈴薯 *Solanum tuberosum* L. 雲仙およびビート *Beta vulgaris* L. GW. 359 を供試した。

甘藷は 1959年9月4日に全長 25 cm、葉新4枚の

苗を1週間炒耕した後、発根状態のそろつた苗を2個体ずつパーミキュライトを入れた1/5,000 a ポットに移植し、野口・菅原氏甘藷水耕液で生育させ、2週間後に phytotron に入れて実験を行なつた。

馬鈴薯は1959年9月3日に圃場に植付け、4週間後に全長、葉数のほゞ同じ苗を親薯より切りはなし、パーミキュライトを入れた、1/5,000 a ポットに2個体ずつ移植し、木村氏畑作物水耕液で生育させ実験に用いた。

ビートは1/5,000 a ポット植床土を入れ、硫安5g、過磷酸石灰5g、塩化加里3gを全層施肥し、1960年9月9日に播種し10月10日に1本立てとして実験に用いた。

甘藷および馬鈴薯では4変温区(昼間温度—夜間温度; 15—12°C, 20—15°C, 25—20°C および 25—13°C と2恒温区(15—15°C, および 20—20°C)の計6区の試験区を設け、ビートでは3変温区(17—14°C, 22—17°C, 27—22°C)をもうけた。なお、変温区は6:30 a.m. より6 p.m. までの11:30 hr. を昼温に、残りの12:30 hr. を夜温に保つた。甘藷は1959年9月25日より、馬鈴薯は10月9日より各3ポットずつ温度処理を始め3週間後に収穫した。ビートは1961年1月12日より始め5週間後に収穫し

た。

甘藷および馬鈴薯は葉数、茎長、いも数の調査を行なつた後、地上部、根および貯蔵器官にわけて85°Cで通風乾燥を行ない、乾量、全炭水化物、全糖、還元糖、窒素、燐酸および加里含有量を測定した。ビートは葉数、茎長、根径、茎葉重および根重の調査を行なつた後、根中糖分およびマルクの測定を行なつた。また地上部は乾燥し、全糖、還元糖、非還元糖および窒素含有量の測定を行なつた。

炭水化物の分析はジニトロ・サルチル酸による比色定量、窒素はセミ・マイクロ・ケルダール法、燐酸はメタ・バナジン酸法、加里は焰光法、ビートの根中糖分は検糖計により行なつた。

## 2. 実験結果

甘藷の生育および乾物におよぼす昼夜変温の影響を調べた結果をTable 1に示した。葉数、茎長、塊根数、茎葉および塊根乾量は温度上昇とともに増加し、25—20°C 変温区で最高となり、特に、塊根数および塊根乾量においてこの傾向が著しかった。

馬鈴薯の生育および乾量におよぼす昼夜変温の影響を調べた結果をTable 2に示した。茎長、葉、茎および根の乾量は甘藷と同じく温度上昇とともに増加し、

Table 1. Effect of varying day and night temperatures on the growth and dry matter yield of sweet potato, 1959.

Treatment (Day-night temp.)	Number of leaves	Length of stem (cm)	Number of tuberous roots	Dry weights in grams per plant			
				Leaves	Stems	Roots	Tuberous roots
No treatment	10.0	31.8	0	2.56	1.36	1.91	0
15—13°C	13.0	40.8	2.7	4.61	3.34	3.50	0.27
20—15°C	14.0	41.8	4.0	4.82	3.48	4.26	0.44
25—20°C	16.1	47.5	8.0	4.97	3.54	3.24	3.34
25—13°C	15.3	45.8	5.3	4.75	3.63	3.37	1.42
15°C	13.1	40.3	3.7	4.77	3.17	3.57	0.37
20°C	15.3	42.7	6.3	4.94	3.55	3.94	1.44

Means of 6 plants grown two per pot.

Table 2. Effect of varying day and night temperatures on the growth and dry matter yield of potato, 1959.

Treatment (Day-night temp.)	Number of leaves	Length of stem (cm)	Number of tubers	Dry weights in grams per plant			
				Leaves	Stems	Roots	Tubers
No treatment	9.0	17.0	0	1.15	0.49	0.46	0
15—13°C	9.0	21.8	2.7	1.86	0.60	0.73	3.42
20—15°C	10.0	25.5	3.0	2.28	0.65	0.79	5.23
25—20°C	9.6	29.0	3.0	2.71	0.82	0.88	5.18
25—13°C	9.5	24.7	2.3	2.65	0.79	0.88	5.48
15°C	9.8	21.8	3.3	2.08	0.65	0.79	3.32
20°C	11.0	23.3	3.0	2.16	0.68	0.79	3.58

Means of 6 plants grown two per pot.

25—20°C 変温区で最高となつた。次に昼夜変温および恒温の影響をみると、塊根乾量は、20°C 恒温区が20—15°C および 25—13°C 変温区より多かつた。このことから、夜間の温度低下が 20°C 以下の場合に塊根乾量の増加を抑制するようにみうけられた。これに対して馬鈴薯での塊根乾量は 15—13°C および 20—15°C 変温区が 15°C および 20°C 恒温区より多くなり、特に昼間温度の同じ 25°C でも昼夜の温度較差の大きい夜温 13°C の場合が 20°C の場合より多くなつた。なお、乾量の分散分析結果では、甘藷の塊根は 1% level, 根および馬鈴薯の塊根は 5% level において有意差が認められた。

ビートの生育および生体重におよぼす昼夜変温の影響を調査した結果を Table 3 に示した。気温の上昇とともに地上部の生育は良好となり、茎葉重は 27—22°C 区で最高であつた。最大根径は地上部の生育と同じく温度の上昇とともに増大したが、根重は多少温

度の低い 22—17°C 区で最高となつた。

甘藷および馬鈴薯の化学成分におよぼす昼夜温の影響を調べた結果を Table 4 および 5 に示した。

全炭水化物含有率は甘藷の茎葉部では 20—15°C 変温区で高かつた。地下部では温度上昇とともに増大し 25—20°C 変温区で最高となつた。一方、馬鈴薯の地上部では温度上昇とともに高くなり、根では逆に低下を示した。しかし、塊茎では 20°C 恒温区で最も高く、次に 20—15°C 変温区となり、乾量と同様昼温 20°C で良好であつた。

全糖含有率は甘藷の茎葉部では 15—13°C 変温区で最高となり、変温区では温度上昇とともに低下した。地下部では最高の 25—20°C 変温区をのぞいて茎葉部同様温度上昇とともに低下した。一方、馬鈴薯の茎葉では温度上昇とともに高くなり、甘藷でのそれと温度に関して逆の傾向を示した。塊茎では昼夜の温度較差の大きい 25—13°C 変温区で最高となつた。

Table 3. Effect of varying day and night temperatures on the growth of sugar beet, 1961.

Treatment (Day-night temperature)	Number of leaves	Length of leaf (cm)	Diameter of root (cm)	Fresh weight (g)	
				Top	Root
Before treatment	21.0	34.0	4.0	147.0	64.3
17—14°C	29.0	33.5	5.2	159.2	104.0
22—17°C	32.8	36.2	6.4	237.3	166.3
27—22°C	37.8	34.8	6.5	260.3	151.8

Means of 4 plants grown one per pot.

Table 4. Effect of varying day and night temperatures on the chemical compositions of sweet potato, 1959. (in percentage, dry weight basis)

Treatment (Day-night temp.)	Total carbo- hydrate (%)	Total sugar (%)	Starch (%)	Reducing sugar (%)	Non- reducing sugar (%)	Nitrogen (%)	Phos- phorus (%)	Potassium (%)
No treatment	33.94	13.02	20.92	5.28	7.74	2.94	—	—
15—13°C	41.70	11.92	29.78	8.63	3.29	1.91	0.24	2.58
20—15°C	44.76	7.87	36.89	6.08	1.84	1.89	0.19	2.43
25—20°C	40.78	6.32	34.46	4.61	1.71	1.82	0.18	2.64
25—13°C	41.57	6.28	35.29	4.38	1.90	2.31	0.20	2.75
15°C	41.90	8.89	33.01	6.36	2.53	2.21	0.22	2.56
20°C	46.55	8.79	37.76	6.65	2.14	1.86	0.18	2.42
Root								
No treatment	24.81	4.95	19.86	2.20	2.75	2.39	—	—
15—13°C	34.77	9.52	25.25	2.69	6.83	1.41	0.28	4.47
20—15°C	37.19	9.09	28.10	4.68	4.41	1.61	0.23	4.03
25—20°C	48.74	11.86	36.88	8.62	3.24	1.85	0.20	3.35
25—13°C	37.29	7.34	29.95	4.20	3.14	1.72	0.23	4.20
15°C	36.81	9.93	26.88	3.50	6.43	1.70	0.27	4.25
20°C	40.06	8.47	31.59	2.49	5.98	1.51	0.21	3.55

Table 5. Effect of varying day and night temperatures on the chemical compositions of potato, 1959. (in percentage, dry weight basis)

Treatment (Day-night temp.)	Total carbo- hydrate (%)	Total sugar (%)	Starch (%)	Reducing sugar (%)	Non- reducing sugar (%)	Nitrogen (%)	Phos- phorus (%)	Potassium (%)
Leaf and stem								
No treatment	17.78	—	—	—	—	4.23	—	—
15-13°C	16.55	5.05	11.59	2.28	2.77	4.14	0.93	5.38
20-15°C	17.85	6.26	11.59	4.26	2.00	3.83	0.79	5.89
25-20°C	18.62	6.43	12.19	3.86	2.57	3.73	0.77	6.20
25-13°C	18.43	5.85	12.58	3.37	2.48	3.85	0.74	5.87
15°C	16.86	4.33	12.53	2.54	1.79	3.96	0.96	5.70
20°C	17.61	5.02	12.59	2.85	2.17	3.82	0.92	5.85
Root								
No treatment	12.90	—	—	—	—	2.57	—	—
15-13°C	20.53	2.08	18.45	0.90	1.18	2.46	1.24	—
20-15°C	19.44	2.20	17.24	1.01	1.19	2.34	0.99	—
25-20°C	17.19	1.93	15.26	0.79	1.14	2.28	1.19	—
25-13°C	19.04	2.09	16.95	0.71	1.38	2.55	1.04	—
15°C	19.31	2.08	17.23	0.92	1.16	2.35	1.13	—
20°C	20.50	2.02	18.48	0.80	1.22	2.06	0.94	—
Tuber								
15-13°C	75.74	6.34	69.40	3.01	3.33	1.00	0.67	1.85
20-15°C	78.89	8.17	70.72	2.28	5.89	1.21	0.68	1.76
25-20°C	78.33	5.79	72.54	1.87	3.92	1.31	0.73	1.87
25-13°C	77.44	8.82	68.62	1.68	7.14	1.41	0.69	1.66
15°C	74.31	7.14	67.17	2.51	4.63	1.48	0.74	1.98
20°C	79.16	6.00	73.16	2.15	3.85	1.36	0.88	1.74

澱粉含有率は甘藷の茎葉部では 20—15°C 変温区および 20°C 恒温区で高く、温度上昇とともに増加する傾向を示した。地下部では温度上昇とともに増加し、乾量と同様 25—20°C 変温区で最高となつた。一方、馬鈴薯の茎葉部では大差なく、根では温度の低い場合に高くなる傾向を示した。塊茎では温度上昇とともに増加し、25—20°C 変温区および 20°C 恒温区で高くなつた。両作物の貯蔵器官では澱粉含有率は温度上昇とともに増加し、温度に関して両作物で全く同じ傾向を示した。

還元糖含有率は甘藷の茎葉部では 15—13°C 変温区で最高となり、地下部では 25—20°C 変温区で最高となつた。一方、馬鈴薯の茎葉部では 20—15°C 変温区で最高となり、塊茎では 15—13°C 変温区で最高となり温度上昇とともに低下した。還元糖含有率は両作物の貯蔵器官では温度に関して逆の傾向が認められた。

非還元糖含有率は甘藷の茎葉部・地下部ともに 15—13°C 変温区で最高となり、温度上昇とともに低下した。一方、馬鈴薯では一定の傾向は認められなかつたが、塊茎では昼夜の温度較差の大きい 25—13°C で最高となつた。温度較差の観点からみれば、較差の大きい 25—13°C で非還元糖が多く、較差の小さい 25—

20°C では澱粉が多くなることが認められた。甘藷では茎葉部の非還元糖は phytotron での温度処理直前にはきわめて高いが、3 週間の温度処理によりいずれの区でも低下し、逆に地下部のそれが高くなり、さらに、低温の場合でより高くなつた。

窒素含有率は両作物とも茎葉部では温度上昇とともに減少し、貯蔵器官では温度上昇とともに増大し、両作物とも温度に対して全く同じ傾向を示した。

磷酸含有率は甘藷では茎葉部・地下部とも 15—13°C 変温区で最高となり、温度上昇とともに低下した。馬鈴薯の茎葉部では 15°C 恒温区および 15—13°C 変温区で高く、温度上昇とともに低下し甘藷と同じ傾向を示した。

加里含有率は甘藷の地下部では 15—13°C 変温区、15°C 恒温区で高く、温度上昇とともに低下した。馬鈴薯の塊茎では 15°C 恒温区で最高となつた。

ビートの根中糖分および茎葉部の炭水化物含有率を測定した結果を Table 6 に示した。

ビートの根中糖分は温度の低い 17—14°C 変温区において最高であり、温度の上昇とともに漸次減少した。純糖率は 22—17°C 変温区で最高であつた。マルクおよび還元糖は根中糖分と同じく低温において高

Table 6. Effect of varying day and night temperatures on the sugar contents of sugar beet, 1961.

Treatment (Day-night temp.)	Ref. brix	Sucrose fresh wt.	Apparent purity	Marc	Red. sugar fresh wt.	Chemical compositions of tops (in percentage of dry wt.)			
						Total sugar	Red. sugar	Sucrose	Nitrogen
Before treatment	20.4	18.60	87.5	5.30	—	24.5	11.9	12.6	3.0
17-14°C	23.3	19.00	81.6	6.51	1.68	28.3	11.7	16.7	3.0
22-17°C	21.0	17.28	82.4	6.08	0.90	24.3	10.5	13.8	2.7
27-22°C	20.7	16.69	80.8	5.71	0.82	24.2	11.5	12.7	2.4

Table 7. Effect of varying day and night temperatures on the increase of total carbohydrate of sweet potato.

Treatment (Day-night temp.)	Increase of carbohydrate during 3 weeks		Increase rate of carbo- hydrate during 3 weeks		Storage rate of carbohydrate in root
	Top	Root	Top	Root	
	mg	mg	%	%	%
15 - 13°C	1985	839	149.2	177.0	29.69
20 - 15°C	2385	1274	179.3	268.8	34.82
25 - 20°C	2140	2733	160.9	576.7	50.69
25 - 13°C	2153	1312	161.9	276.8	37.87
15°C	1997	977	150.1	206.0	32.85
20°C	2122	1682	159.5	354.7	44.21

Standard carbohydrate yield (No treatment)

Top...1330 mg, Root...474 mg.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of carbohydrate in root}}{\text{Increase of carbohydrates in top and root}} \times 100$

Table 8. Effect of varying day and night temperatures on the increase of total carbohydrate of potato.

Treatment (Day-night temp.)	Increase of carbohydrate during 3 weeks		Increase rate of carbo- hydrate during 3 weeks		Storage rate of carbohydrate in root
	Top	Root	Top	Root	
	mg	mg	%	%	%
15 - 13°C	116	2681	39.6	454.4	95.8
20 - 15°C	231	4220	79.3	715.3	94.8
25 - 20°C	366	4150	125.2	703.3	91.9
25 - 13°C	342	4352	117.1	737.6	92.7
15°C	169	2560	57.8	434.0	93.8
20°C	210	2939	72.0	498.1	93.3

Standard carbohydrate yield (No treatment)

Top...292 mg, Root...59 mg.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of carbohydrate in root}}{\text{Increase of carbohydrates in top and root}} \times 100$

く、温度上昇のものに低下した。葉部での全糖、蔗糖および窒素含有率は 17-14°C 変温区で最高となり、温度上昇とともに減少した。

次に植物体を地上部および地下部にかけて処理 3 週間間に増加した夫々の炭水化物収量並びに蓄積率と温度との関係を検討した結果を Table 7 に示した。

甘藷での炭水化物の増加は地上部・地下部ともにほぼ温度上昇につれて増大した。炭水化物の地上部・地

下部との間の利用関係と温度との関係を明確にする目的で、根における炭水化物の蓄積率を計算した。蓄積率は植物体全体の炭水化物増加に対する地下部の炭水化物増加の割合をもつて表示した。甘藷の根での炭水化物蓄積率は温度上昇とともに増大し、25-20°C 変温区で最高となった。

馬鈴薯の地上部・地下部での全炭水化物増加および根での蓄積率と温度との関係を Table 8 に示した。

Table 9. Effect of varying day and night temperatures on the increase of fresh weight of sugar beet.

Treatment (Day-night temp.)	Increase of fresh weight during 5 weeks		Increase rate of fresh weight during 5 weeks		Storage rate of fresh root weight
	Top	Root	Top	Root	
17 - 14°C	g 12.2	g 39.7	% 8.3	% 61.7	% 76.49
22 - 17°C	90.3	102.0	61.4	158.6	53.04
27 - 22°C	113.3	87.5	77.1	136.1	43.57

Standard fresh weight yield (No treatment)

Top...147.0g, Root...64.3s.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of fresh root weight}}{\text{Increase of fresh top and root weights}} \times 100$ 

炭水化物の増加は地上部に比較し地下部では著しく高くなり、地上部では 25—20°C 変温区で最高であつたのに対して地下部では温度の多少低い 20—15°C および 25—13°C 変温区で高くなつた。地下部での炭水化物蓄積率は変温区・恒温区ともに低温の場合に最高となり、温度上昇とともに低下した。

温度処理 5 週間の間に増加したビートの茶葉部および根部の生体重の増加と温度との関係を Table 9 に示した。茶葉部増加は温度上昇とともに増大したが、根部増加は 22—17°C 変温区で最高となつた。根部での蓄積率は馬鈴薯の場合と同じく、17—14°C 変温で最大となり温度上昇とともに低下した。

### 3. 考 察

Table 1 から明らかなように、甘藷の塊根肥大には昼夜の温度較差が小さいか、または、恒温状態がよいものと考えられた。即ち、塊根重は、昼間温度 25°C の場合には、昼夜の温度較差の大きい夜温 13°C の場合が 20°C の場合の 1/2 以下に減少した。また、20—15°C 変温区の場合には 25—20°C 変温区および 20°C 恒温区に比較し著しく減少していた。これらの現象は塊根肥大に対し夜間の低温、特に 20°C 以下の低温が制限因子となつてゐることを示したのであらう。こうした結果が得られたことは処理温度の範囲が比較的狭かつたことにもよると思われた。さらに、塊根重の重い 25—20°C 変温区で根重が最も軽く、低温の場合には逆に根重が重かつた。この結果から根に転流してきた糖の貯蔵形態への転換は低温で阻げられて、塊根形成が制限されるものと推定された。これらの推察は、Table 4 での低温では澱粉含有量が低いことからうろずけられよう。

炭水化物のうちで糖含有率は地上部・地下部ともに低温で高く、澱粉含有率は高温で高くなる傾向を

Table 4 より認めえた。地下部でのこの現象は転流してきた糖の澱粉への転換が高温でさかんであること、また低温では糖の転流をおさえるだけでなく、物質転換、さらに生育をもさまたげなことを示している。

Table 2 から明らかなように、馬鈴薯の塊茎乾量は夜温の比較的低い変温区でよくなつた。即ち、25—20°C 変温区より 20—15°C 変温区でよくなつた。

また、昼間温度 25°C の場合には夜温の低い 13°C が 20°C より著しく高く、甘藷塊根とかなり趣を異にした。本実験の範囲では、馬鈴薯塊茎形成は比較的低い夜温、特に昼夜の温度較差の大きい場合によいものと思われた。

Bushnell は、馬鈴薯を 20, 22, 24, 26 および 29°C で生育させ、20°C の場合が 26°C の場合より多くの塊茎を得ることを明らかにした。このことを参酌すれば塊茎形成の適温は昼間では 20°C から 25°C であり、夜間では 15°C 前後であらうと考えられた。昼夜の温度較差は塊茎形成とともに塊茎の炭水化物組成にも関係した。即ち、較差の大きい場合には非還元糖含有率が高くなり、小さい場合には澱粉含有率が高くなつた。また、Table 5 から明らかなように、塊茎においては低温では糖が多くなり、高温では澱粉が多くなつて、甘藷での結果と同じ傾向を示した。さらに、Table 6 に示したように、ビートでも根中糖分は甘藷・馬鈴薯と同じく温度の低い 17—14°C 変温区で最高となり、温度上昇とともに減少した。

生育適温は作物により、また、同一個体でもその器官により異なつたが、温度に関して甘藷・馬鈴薯で共通の傾向を示した化学成分は温度上昇とともに増大する貯蔵器官の澱粉および窒素であつた。これに対して両作物で逆の傾向を示した物質は貯蔵器官での還元糖であつた。このように化学成分は甘藷、馬鈴薯およびビ

ートと温度に対して同じ傾向を示した。

第1・第2報においては、<sup>20,21)</sup>短時間における転流・蓄積におよぼす温度の影響を論じ、20°C前後がよいことを明らかにした。本報においては全炭水化物の温度処理前と後との収量を比較し、かなり長期間にわたる関係をしらべた。莖葉部での炭水化物増加量は早晚莖葉自身の生長につかわれるか、または転流して行くものであるから一時的蓄積にすぎない。一方、地下部での増加量は転流してきた同化物質の蓄積を示す。しかし、この蓄積には蔗糖の形で転流し、貯蔵形態の炭水化物への転換の良否と共に、同化面積増大にともなう同化物質生産の多寡が関係するので、長期間の処理による蓄積量のみから転流と温度との関係を論ずることは困難である。しかしながら、莖葉部にとどまる炭水化物および転流されて地下部に蓄積される炭水化物の利用割合と温度との関係を明らかにすることは栽培技術確立のための基礎資料をうるのには必要なことと思われる。

#### 4. 摘 要

1) 昼夜変温と作物の生育反応、化学成分および同化物質蓄積との関係を研究し、温度の影響が温暖作物・冷涼作物で普遍的な現象を検索した。

2) 甘藷および馬鈴薯をパーミキュライトの入った1/5,000 aポットに各2本植え、4変温区(昼間—夜間温度; 25—13°C, 20—15°C, 25—20°C, 25—13°C)と2恒温区(15—15°C, 20—20°C)の計6試験区で3週間温度処理試験を行なった。また、ビードを填壤土の入った1/5,000aポットに1本植え、3変温区(17—14°C, 22—17°C, 27—22°C)で5週間温度処理試験を行なった。

3) 地上部の生育は甘藷・馬鈴薯およびビードいずれも温度上昇とともに良好となり、甘藷・馬鈴薯では25—20°C変温区で最高となつたが、地下部の生育は作物により多少異なり甘藷では25—20°C変温区、馬鈴薯では25—13°C変温区、ビードでは22—17°C変温区で最高となつた。

4) 地上部での窒素および磷酸含有率、貯蔵器官での非還元糖含有率は甘藷・馬鈴薯およびビードいずれも低温の15°Cで高く、温度上昇とともに減少した。また、貯蔵器官での澱粉および窒素含有率に甘藷・馬鈴薯ともに温度上昇とともに増大し、高温の25—20°Cで高く、温暖・冷涼作物で全く同じ傾向を示した。

5) 地上部および地下部での全炭水化物の増加はいずれの作物も温度上昇とともに大となる傾向を示し

た。地下部での全炭水化物の蓄積率は甘藷では25—20°Cで高かつたが、馬鈴薯では15—13°C、ビードでは17—14°Cと低温で高かつた。

## II. 甘藷の生育ならびに物質蓄積 におよぼす昼夜間地温の影響

本報Iでは気温の影響について報告したが、温度が植物の生育に影響をおよぼす場合には多くは土壤温度の作用を通じて地下部が反応する結果起こるものであるとReithmannはのべている。<sup>20)</sup>従つて地下部に貯蔵器官をもつ作物および生長点を地中または地表近くにもつ作物は地温に強く影響されると考えられた。そこで本報IIでは地温の影響を追究した。

また、同化物質の転流は同化の盛んな昼間に多く起るとの報告があるが、<sup>4)</sup>第4報で詳論するように、Sucrose-C<sup>14</sup>の地下部への転流は光の弱い時または暗所で多かつた。さらに、Ulrichは、<sup>25,26)</sup>ビードの生育および糖含量は夜温により強く影響されること、長谷川は、<sup>5)</sup>夜間高地温が甘藷での転流を阻たげることが報告した。そこで昼夜別に地温をかえて生育および炭水化物蓄積におよぼす影響を調査した。

### 1. 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。全長15cm、葉数4枚の苗を発根させ、発育のそろつたものをパーミキュライトとパーライトとを3対2の割合で混合して入れた1/5,000 aポットに2個体ずつ移植し、野口・菅原氏甘藷水耕液を用いて栽培した。温度処理はガラス室内に装置した恒温槽を用い地温を20, 30°および40°Cとした。処理は毎日12時間とし昼間に地温処理を行う区と夜間に行なう区とにわけた。なお、昼間地温区は昼間12時間(7 a.m.—7 p.m.)はそれぞれ地温をかえ、夜間12時間は恒温槽より出しガラス室内に放置した。夜間地温処理区は逆に夜間に地温をかえ、昼間はガラス室に放置した。

実験期間におけるガラス室の平均昼温は25.4°Cであり、平均夜温は21.4°Cであつた。実験は1960年6月7日より始め3週間後に収穫し、生育および化学成分の測定を行なった。分析法その他は本報Iに順じた。

### 2. 実験結果

甘藷の生育および昼夜間および夜間地温の影響を調査した結果をTable 10に示した。昼間地温処理区においては、葉数と、葉、茎および根の乾量は地温30°Cで最高となり地温40°Cで最も低かつた。一方、夜



Table 10. Effect of soil temperatures in the daytime and night on the growth and dry matter yield of sweet potato, 1960.

Treatment	Number of leaves	Length of stem (cm)	Dry weight in mg per plant		
			Leaves	Stems	Roots
No treatment	6.8	28.8	1680	1167	564
Soil temp. in daytime					
20°C	16.8	74.9	4183	2340	1652
30°C	17.0	70.0	4380	2630	1757
40°C	16.7	59.0	3803	2167	873
Soil temp. in night					
20°C	18.0	87.4	5463	3767	1950
30°C	17.8	86.1	5270	3270	1240
40°C	13.7	56.3	3147	2057	1043

Means of 6 plants grown two per pot.

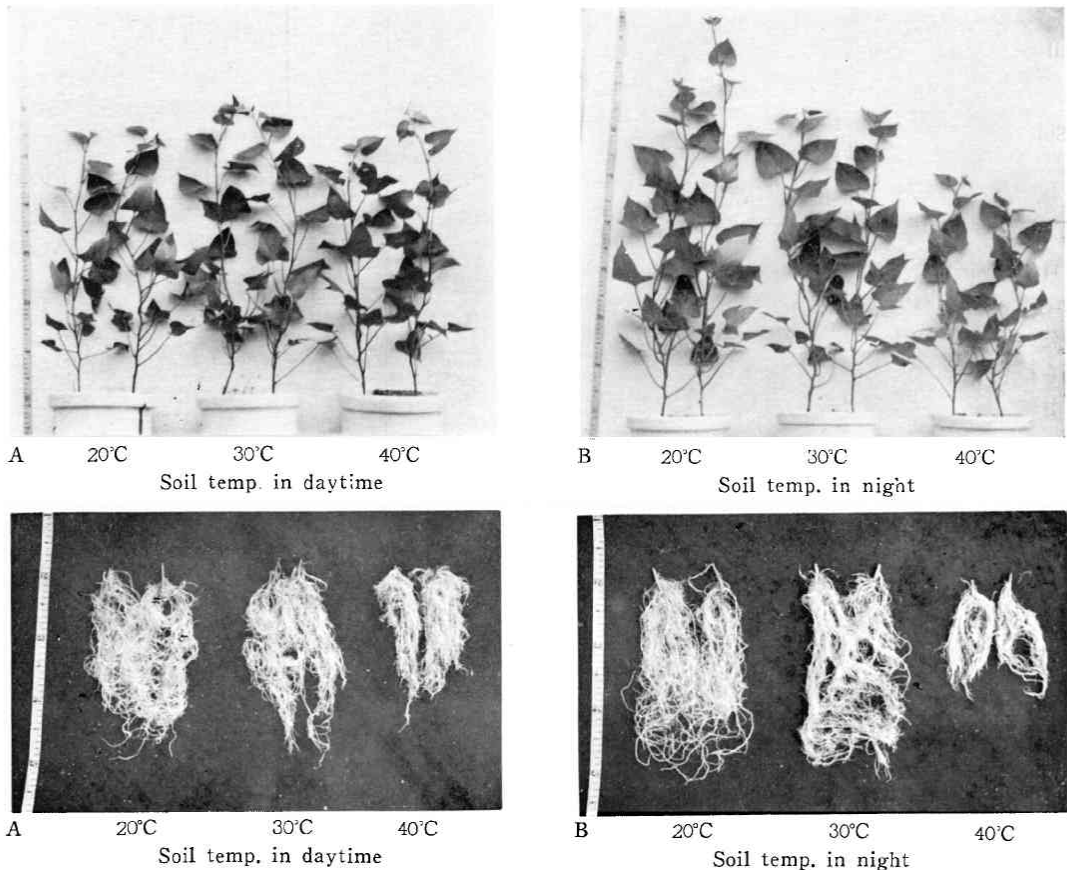


Fig. 1. Sweet potato plants grown at soil temperatures of 20, 30 and 40°C during the daytime or during the night for 3 weeks.

A.....the plants grown at soil temperatures during the daytime.  
B.....the plants grown at soil temperatures during the night.

間地温処理区においては、葉数、茎長および各部の乾量はいずれも地温 20°C で最高となり、地温の上昇とともに順次減少した。

昼間地温処理区では地温の影響は処理区間によつて著しい差を認めがたいが、夜間地温処理区では処理区間による影響が著しく、両区を通じて地温 20°C で

Table 11. Effect of soil temperatures in the daytime and night on the chemical compositions of sweet potato, 1960. (in percentage, dry weight basis)

Treatment	Total carbohydrate (%)	Total sugar (%)	Starch (%)	Reducing sugar (%)	Non-reducing sugar (%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)
Leaf and stem							
No treatment	16.95	—	—	—	—	4.34	—
Soil temp. in daytime							
20°C	20.99	4.99	16.00	2.38	2.61	3.96	0.27
30°C	21.17	4.78	16.39	2.31	2.47	4.26	0.29
40°C	22.00	5.57	16.43	2.31	3.26	3.36	0.22
Soil temp. in night							
20°C	22.33	5.01	17.32	1.91	3.10	3.61	0.23
30°C	19.00	4.40	14.60	2.13	2.27	4.06	0.24
40°C	21.93	7.28	14.65	4.23	3.05	3.35	0.24
Root							
No treatment	13.80	—	—	—	—	3.45	—
Soil temp. in daytime							
20°C	18.10	4.78	13.32	1.78	3.00	3.28	0.28
30°C	20.00	5.52	14.48	1.47	4.05	3.25	0.24
40°C	21.00	5.45	15.55	1.65	3.80	3.21	0.19
Soil temp. in night							
20°C	23.30	5.80	17.50	1.51	4.29	3.16	0.23
30°C	21.00	5.89	15.11	1.39	4.50	3.11	0.27
40°C	20.80	6.86	13.94	1.73	5.13	3.02	0.24

生育が最も良好となり、地温 40°C で最もわるくなった。なお、これらの値は分散分析の結果、葉および根の乾量は 1%、葉長は 5% level において有意差が認められた。

甘藷の化学成分におよぼす昼間および夜間地温の影響を調査した結果を Table 11 に示した。

全炭水化物含有率は地上部では夜間地温 20°C 区をのぞき温度上昇とともに高くなり、両処理区とも同じ傾向を示した。一方、地下部においては、昼間処理区では地温 40°C で最高となり、夜間処理区では地温 20°C で最高となった。

全糖含有率は地上部においては両処理区とも地温 40°C で最高となった。一方、地下部においては昼間処理区では 30°C、夜間処理区では地温 40°C で最高となった。

澱粉含有率は昼間処理区においては地上部、地下部いずれも 40°C の場合に最高となり、地温の低下とともに減少を示した。一方、夜間処理区においては、地上部では 30°C をのぞいて地温上昇とともに低下し、地下部でも 20°C の場合に最高となり、地温上昇とともに減少した。

還元糖含有率は地上部においては昼間処理区では大差なかつたが、夜間処理区では地温上昇とともに増加し 40°C で最高となった。一方、地下部においては、両処理区とも 30°C で最低となった。

非還元糖含有率は地上部においては、両処理区とも 30°C で最低となった。一方、地下部においては、昼間処理区では 30°C で最高となり、夜間処理区では地温上昇とともに増大し 40°C で最高となった。

窒素含有率は地上部においては両処理区とも 30°C で最高となったが、地下部においては両処理区とも 20°C で最高となり、温度上昇とともに低下した。

磷酸含有率は地上部においては 30°C で最高となった。地下部においては昼間処理区の場合には 20°C で最高となり、地温上昇とともに減少したが、夜間処理区では 30°C で最高となった。

植物体を地上部および地下部にわけ、処理 3 週間の間に増加した炭水化物収量および地下部での炭水化物の蓄積率と温度との関係を調査した結果を Table 12 に示した。

昼間処理区においては、地上部・地下部ともに炭水化物収量の増加は 30°C で最も多くなり、地下部での蓄積率も 30°C で最も高くなった。一方、夜間処理区においては炭水化物の増加は地上部・地下部とも 20°C で最も多く、地温上昇とともに減少した。地下部での蓄積率は 20°C で最高となった。

### 3. 考 察

Table 12 から明らかなように、甘藷の生育は昼間地温処理区に比較し夜間地温処理区で各処理間により影響の著しいことが明らかとなった。即ち、夜間での

Table 12. Effect of soil temperatures in the daytime and night on the increase of total carbohydrate of sweet potato, 1960.

Treatment	Increase of carbohydrate during 3 weeks		Increase rate of carbohydrate during 3 weeks		Storage rate of carbohydrate in root
	Top	Root	Top	Root	
	mg	mg	%	%	%
Soil temp. in daytime					
20°C	887	217	183.8	278.5	19.63
30°C	1001	274	207.5	351.6	21.46
40°C	831	106	172.2	135.6	11.27
Soil temp. in night					
20°C	1579	377	327.0	484.1	19.26
30°C	1140	183	236.3	234.7	13.81
40°C	659	193	136.5	178.8	17.43

Standard carbohydrate yield (No treatment)

Top...483 mg, Root...78 mg.

Storage rate ...  $\frac{\text{Increase of carbohydrate in root}}{\text{Increase of carbohydrate in top and root}} \times 100$

地温の作用が顕著であつた。

この結果は、第4報での Sucrose-C<sup>14</sup> の転流が暗所で多いこと、ビートの生育および糖含量が夜温により強く影響されるとの Ulrich の報告<sup>25,26</sup>)と一致した。

昼夜での適地温は異なり、昼間では 30°C、夜間では 20°C となつた。この昼夜での相違は室温が昼夜で約 5°C の差を有することも多少関係したであらう。昼間地温 30°C 区では夜間地温は室温と同じ 21.4°C 前後となつたし、夜間地温 20°C 区では昼間室温は 25.4°C であつた。

夜間地温 30°C 区では 20°C 区に比し地上部・地下部ともに生育がおとろ、地下部への炭水化物転がおとろえ蓄積率は低くなつた。この結果は第1報での炭水化物の根への転流が 30°C より 20°C においてよかつた事実とよく一致した。<sup>20)</sup>

次に昼夜の温度較差の観点から考察すれば、昼間処理区の根では 20°C 区；20—21.4°C、30°C 区；30—21.4°C、40°C 区；40—21.4°C となり、夜間処理区の根では 20°C 区；25.4—20°C、30°C 区；25.4—30°C、40°C 区；25.4—40°C となる。甘藷の地上部の生育は夜間の地温が低い夜間 20°C 区および昼間 20°C 区および昼間 20°C 区において良好となつた。しかしながら、昼夜の温度較差の大きい昼間 40°C 区では最もわるくなつた。これらの結果は、本報 I の気温での結果と一致した。

以上の結果から検討すると、甘藷地下部の生育は昼間 25° から 30°C の範囲で、夜間 20°C 前後の昼夜変温でよくなり、また、昼夜地温の較差の小さい場合に良

好となるといえよう。

#### 4. 摘 要

1) 甘藷の生育および物質蓄積の最適地温を明らかにするとともに、昼夜いずれの地温が生育に顕著に作用するか追究した。

2) 甘藷をパーミキュライト・パーライトを 3:2 に混合し入れた 1/5,000 a ポットに 2 本植え、ガラス室に装置した恒温槽を用い昼夜別に地温を 20, 30 および 40°C として 3 週間栽培した。

3) 甘藷の生育は夜間地温の影響が顕著であり、葉数、茎長、地上部重、地下部重いずれも地温 20°C で最高となり、地温上昇とともに順次減少し、40°C では葉数、茎長、地上部重は両地温処理区を通じて最少であつた。

4) 澱粉含有率は昼間地温処理区での地温 40°C で最高となり、夜間地温処理区での地温 20°C で最高となつた。昼間の低地温および夜間の高地温は地下部の澱粉蓄積を悪化した。

5) 全炭水化物の増加は、昼間地温処理区では地上部・地下部ともに地温 30°C で最高となり、夜間地温処理区では地温 20°C で最高となつた。

地下部での全炭水化物の蓄積率は、昼間地温区 30°C、夜間地温区 20°C で高くなつた。

昼間地温 30°C、夜間地温 20°C 前後が甘藷の生育・物質蓄積に適当と考えられた。

### III. 甘藷の生育ならびに物質蓄積におよぼす気温および地温影響

作物の生育と気温との関係<sup>27,28,29)</sup> および地温と

の関係, 6, 9, 11, 16, 23) と個々の温度要因を調べた研究は多い。本報 I および II でもすでに論じてきた。第 2 報 I で植物体温は外圍温度によつて左右されることを明らかにした<sup>21)</sup>。そこで地温は地下部の体温に、気温は地上部の体温に直接関係して各の生理作用に影響をおよぼす外に、相互に影響をおよぼすと考えられる。従つて、植物体の部分温度をとり上げる地温の研究には気温との関連を論ずる必要があると思われる。しかし両者を考慮した研究は非常に少ない。<sup>9)</sup> そこで地温の影響と地上部生育に直接関与すると考えられる気温の影響との関係を追究し、同時に、物質転流に関係すると考えられている植物体内の温度勾配の問題を検討した。

1. 実験材料および方法

実験材料としては甘藷農林 2 号を供試した。全長 15 cm, 4 葉の苗を 2 個休まず、硫酸 1 g, 過燐酸石灰 1 g, 塩化加里 2 g を全層施肥したパーミキュライトとパーライトとを入れた 1/5,000 a ポットに移植した。実験は phytotron の 20—15°C および 25—20°C の 2 室を使用し、各々の室に恒温槽をおき地温を 15°C および 30°C とした。温度処理は 1950 年 12 月 1 日より始めて 3 週間後に収穫し、生育および化学成分の測定をおこなつた。分析法その他は本報 I に準じた。

2. 実験結果

甘藷の生育および乾量におよぼす異つた気温下での地温の影響を調査した結果を Table 13 に示した。高気温下においては低気温下に比べて葉数は多く、葉長は長くなつたが、葉および茎の乾量は逆に軽くなつた。塊根重は低気温区では地温の低い 15°C の場合に最高となり、20—15°C, 30°C と地温が高くなると順次減少した。しかしながら、高気温区では地温 30°C の場合に最高となり、地温の低下とともに減少した。一方、葉重は両気温区とも地下部の温度が地上部よ

り高い地温 30°C の場合に温高となつた。

甘藷の化学成分におよぼす異つた気温下での地温の影響を調べた結果を Table 14 に示した。

全炭水化物含有率は地上部・地下部ともに低気温区では低地温で高くなり、高気温区では逆に高地温で高くなつた。

全糖含有率は両気温区とも地下部では低地温区で高くなり、地温上昇とともに減少する傾向が認められ、特に低気温区で高くなつた。

澱粉含有率は両気温区とも地上部・地下部では高地温で高い傾向を示した。地下部では高気温区でいずれも高いが、地上部では低気温区で逆に高くなつた。

還元糖含有率は地下部では両気温区とも 30°C で著しく低く、地温の低い場合に高かつた。

非還元糖含有率は地下部では低気温区において高くなり、両気温区とも 15°C 地温の場合に高く、特に低気温区 15°C で最高となつた。一方、地下部の低気温区でも同じく地温の低い場合に高くなる傾向が認められた。

窒素含有率は地下部では両気温区とも地温の低い場合に高く、また、低気温で高くなつた。一方、地上部では低気温区で高く、高気温では地温の低い場合に高くなつた。

有機含有率は地上部・地下部ともに低気温で高く、また、両気温区とも地温の低い場合に高くなる傾向が認められた。

次に植物体の地上部・地下部において処理 3 週間の間に増加した炭水化物収量および地下部の蓄積率、即ち、地上部と地下部との間の炭水化物利用割合と温度との関係を調べた結果を Table 15 に示した。

地上部での炭水化物増加量は両気温区とも地温の上昇とともに増加し、地下部での増加量は低気温区では地温 15°C で多く、高気温区では、逆に 30°C で多くな

Table 13. Effect of air and soil temperatures on the growth and dry matter yield of sweet potato, 1960

Day-night temp.	Soil temp.	Number of leaves	Length of stem (cm)	Dry weights in mg per plant			
				Leaves	Stems	Roots	Tuberous roots
No treatment		10.3	35.4	2532	1452	1330	0
20-15°C	20-15°C	17.0	48.6	4167	3663	2360	617
20-15°C	15°C	15.6	58.8	4323	4143	3410	917
20-15°C	30°C	16.9	54.6	4677	4043	2833	367
25-20°C	25-20°C	18.6	53.4	4006	3037	2513	1320
25-20°C	15°C	16.6	59.7	3710	3322	3095	867
25-20°C	30°C	19.0	61.4	4523	4133	2890	1697

Means of 6 plants grown two per pot.

Table 14. Effect of air and soil temperatures on the chemical compositions of sweet potato, 1960. (in percentage, dry weight basis)

Day-night temp.	Soil temp.	Total carbohydrate (%)	Total sugar (%)	Starch (%)	Reducing sugar (%)	Non-reducing sugar (%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)
Leaf and stem								
No treatment		26.00	—	—	—	—	2.59	0.48
20-15°C	20-15°C	35.40	9.40	25.73	5.55	4.12	2.17	0.28
20-15°C	15°C	34.36	7.40	26.96	4.82	2.58	2.26	0.29
20-15°C	30°C	34.00	5.73	28.27	3.59	2.14	2.36	0.29
25-20°C	25-20°C	30.00	10.36	19.64	4.94	5.12	2.31	0.32
25-20°C	15°C	35.33	8.13	27.20	4.71	3.42	2.17	0.28
25-20°C	30°C	36.93	9.69	27.24	5.69	4.00	2.08	0.27
Root								
No treatment		20.70	—	—	—	—	2.45	0.53
20-15°C	20-15°C	35.80	18.57	17.23	6.63	11.94	2.15	0.36
20-15°C	15°C	41.50	20.02	21.48	7.23	12.79	1.79	0.35
20-15°C	30°C	31.53	10.54	20.99	1.65	8.89	1.76	0.32
25-20°C	25-20°C	40.53	11.95	28.58	5.50	6.45	1.79	0.35
25-20°C	15°C	41.00	16.90	24.10	8.25	8.65	1.75	0.34
25-20°C	30°C	43.73	9.55	34.18	1.88	7.67	1.51	0.27

Table 15. Effect of air and soil temperatures on the increase of total carbohydrate of sweet potato.

Day-night temp.	Soil temp.	Increase of carbohydrate during 3 weeks		Increase rate of carbohydrate during 3 weeks		Storage rate of carbohydrate in root
		Top	Root	Top	Root	
		mg	mg	%	%	
20-15°C	20-15°C	1736	791	167.6	287.1	31.29
20-15°C	15°C	1873	1520	180.8	552.3	44.80
20-15°C	30°C	1929	750	186.2	272.4	28.00
25-20°C	25-20°C	1377	1278	133.0	464.3	48.14
25-20°C	15°C	1449	1349	139.9	490.0	48.22
25-20°C	30°C	2161	1731	208.6	628.6	44.47

Standard carbohydrate yield (No treatment)

Top...1035.8 mg, Root...275.3 mg.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of carbohydrate in root}}{\text{Increase of carbohydrate in top and root}} \times 100$ 

つた。

地下部への蓄積率をみると、両気温区とも地温の低い 15°C で高くなり、地上部・地下部の温度が等しいと考えられる対照区よりいずれも多くなった。

### 3. 考 察

Table 13 から明らかなように、高気温下では低気温下に比べて葉数が多く、茎長も長くなったが、葉および茎の乾量は軽くなった。これらの現象は低気温下においては代謝活動の低下からくる同化物質の利用度の低下、即ち、新葉形成、茎の伸長がおとろえること、さらに、地下部への転流もおとろえ、地上部に炭水化物が集積することなどによつて乾量が重くなったものと解釈された。一方、高気温下においては同化物質は新葉形成、茎の伸長および地下部への転流が盛ん

になり、葉数、茎長は増加したが、地上部での炭水化物の蓄積は少なく、それらの乾量は軽くなったものと解釈された。

また、塊根重は低気温区では地温の最も低い 15°C の場合に最高となつたが、高気温区では地温の最も高い 30°C の場合に最高となつた。

第 1 報<sup>20)</sup> および第 2 報<sup>21)</sup> で論じたように転流は地温に関していうならば、ある程度低い方がよいと予想された。これは主として地下部での呼吸昇進による無駄な消費をおさえるということによつていられるが、本結果には上述の第 1 報での結論が直ちにそのままあてはまらない。つまり転流に対する最適地温はそれに組合わされた気温によつて大きく左右された。低気温区での塊根重が低地温ほど大となる現象は地下部の呼吸に

よる消耗減少のためと考えられたが、一方、高気温区での高地温で大となる現象は同化器官である葉の増加に伴う炭水化物絶対量の増加のためと考えられた。

Table 14 に示すように、澱粉は両気温区とも高地温で高くなり、全糖は逆に低くなり、同じ傾向が認められた。これらの結果は Nightingale の結果<sup>13)</sup>とよく一致した。

根での炭水化物蓄積率は、Table 15 に示すように、両気温区とも地温 15°C で高くなり、地温上昇とともに低下して、気温に関係なく地温の低い場合に高くなった。

#### 4. 摘 要

1) 地温の影響と地上部生育に直接関係する気温の影響との関係を追究し、同時に、植物体内の温度勾配の問題を検討した。

2) 甘藷をパーミュライト・パーライトを 3 : 2 に混合し入れた 1/5,000 a ポットに 2 本植え、20—15°C および 25—20°C の恒温ガラス室にて地温を各 15°C および 30°C とし 3 週間栽培した。

3) 高気温の 25—20°C においては、葉数・茎物は低気温の 20—15°C に比し大となるが、葉および茎の乾量は逆に軽くなった。地根重は低気温区では 15°C で最高となり温度上昇とともに低下した。高気温区では 30°C で最高となり、地上部・地下部の温度較差の小さい場合に良好となった。

4) 地下部においては両気温区とも、全糖含有率は低地温の 15°C で高く、温度上昇により低下した。澱粉含有率は逆に高地温の 30°C で高くなった。また、窒素・磷酸含有率も低地温で高くなった。

5) 地上部での全炭水化物の増加は両気温区とも地温上昇により増大した。地下部でも高地温で増大し、全体を通じて高気温区の地温 30°C において、地上部・地下部ともに最大の増加を示した。

地下部での全炭水化物蓄積率は両気温区とも地温の低い 15°C で高くなった。

### IV. 馬鈴薯およびビートの生育ならびに物質蓄積におよぼす恒地温の影響

植物の生育におよぼす温度の影響は地温にもとずくものとされているが、<sup>20)</sup> 本報 II・III においてもすでに温暖作物の甘藷をもちいて種々の方法で地温の影響

を追究し、その影響がほぼ気温のそれに近いことを認めた。このように地温を変えると植物体内に温度勾配が生じるが、この植物体内に生じた温度勾配が物質の転流・蓄積に影響をおよぼすとの仮説がある<sup>14)</sup>。従つて、地温処理は根に直接影響をおよぼす以外に間接に物質転流に影響をおよぼし、生育および炭水化物の地下部の間の利用割合に影響にるものと考えられる。

そこで、冷涼作物の馬鈴薯・ビートを用いて地温の影響を明らかにし、気温のそれと対比検討をする目的で実験を行なつた。

#### 1. 実験材料および方法

実験材料には秋馬鈴薯、雲仙およびビート GW 359 を供試した。

馬鈴薯は種薯を兩場に植付け、これから発芽した約 15 cm の苗をパーミュライトとパーライトとを 3 対 2 の割合して入れた 1/5,000 a ポットに 2 個休ずつ移植した。肥料はポット当り硫酸 2 g、過燐酸石灰 2 g、塩化加里 1 g を全層施肥した。

ビートは 1/5,000 a ホットに培養土を入れ、硫酸 5 g、過燐酸石灰 5 g、塩化加里 3 g を全層施肥し、1960 年 9 月 3 日に播種し、10 月 10 日に 1 本立とした。

馬鈴薯の場合には、phytotron 15°C 室に 3 恒温槽をおき地温を 10、20 および 30°C にかえて、1960 年 12 月 22 日に始め 3 週間後に収穫し、乾量および化学成分を測定した。

ビートの場合には、phytotron 17—14°C 室に 4 恒温槽をおき、地温を 12、17、22 および 27°C とし、1961 年 1 月 12 日より始め 5 週間後の 2 月 16 日に収穫し、生育調査および含糖量・地上部の化学成分を測定した。

#### 2. 実験結果

馬鈴薯の生育および乾量におよぼす恒地温の影響を調査した結果を Table 16 に示した。

葉数は 20°C 地温で最も多く、茎長も同じく 20°C で最も長く、更に、茎葉乾量も 20°C で最高となった。塊茎数は大差なかつたが、塊茎乾量は低地温の 10°C で最高となり、地温上昇とともに順次減少した。根の乾量は 20°C で最高となった。

ビートの生育および生体重におよぼす恒地温の影響を調査した結果を Table 17 に示した。

葉数は地温の上昇とともに増加し 27°C で最高となり、茎長は地温 17°C で最高となった。茎葉部生体重は地温の上昇とともに順次増大し地温 27°C で最高と

Table 16. Effect of soil temperature on the growth and dry matter yield of potato, 1961.

Soil temperature	Number of leaves	Length of stem (cm)	Number of tuber	Dry weight in mg per plant		
				Leaves and stems	Roots	Tuber
No treatment	7.0	24.5	2.0	1400	187	814
10°C	7.7	27.1	2.0	1612	212	3775
20°C	8.3	31.1	2.0	1951	248	3585
30°C	7.0	28.0	2.3	1573	199	3008

Means of 6 plants grown two per pot.

Table 17. Effect of soil temperature on the growth of sugar beet, 1961.

Treatment (Soil temperature)	Number of leaves	Length of leaf (cm)	Diameter of root (cm)	Fresh weight (g)	
				Top	Root
Before treatment	21.0	34.0	4.0	147.0	64.3
12°C	29.8	40.2	5.3	178.5	143.2
17°C	32.3	43.3	5.6	183.0	146.3
22°C	34.2	39.8	5.8	226.8	137.0
27°C	34.7	36.0	5.5	234.5	130.5

Means of 4 plants grown one per pot

Table 18. Effect of soil temperature on the chemical compositions of potato, 1961. (in percentage, dry weight basis)

Soil temperature	Total carbohydrate (%)	Total sugar (%)	Starch (%)	Reducing sugar (%)	Non-reducing sugar (%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)
No treatment	18.75	7.33	10.77	3.93	3.40	4.85	0.90
10°C	18.75	9.35	9.40	4.20	5.15	2.52	0.92
20°C	19.30	10.00	9.30	4.69	5.31	2.22	0.59
30°C	17.00	6.17	10.83	3.35	2.82	2.12	0.77
Root							
No treatment	14.00	2.47	11.53	0.73	1.74	2.38	0.54
10°C	15.10	2.92	12.18	0.91	2.01	2.05	0.94
20°C	15.15	2.92	12.23	0.88	2.04	1.42	0.19
30°C	14.50	2.81	11.69	0.88	1.93	1.42	0.38
Tuber							
No treatment	60.60	2.61	57.99	0.78	1.83	2.27	1.03
10°C	69.90	3.33	66.57	0.75	2.58	3.35	0.78
20°C	70.20	3.20	67.00	0.73	2.47	3.37	0.80
30°C	71.30	3.15	68.15	0.71	2.44	3.38	0.83

なつた。根重は地温 17°C で最高となり、地温の上昇により順次減少した。

次に、馬鈴薯の化学成分におよぼす恒地温の影響を調査した結果を Table 18 に示した。

全炭水化物含有率は茎葉部では地温 20°C で最高となつたが塊茎では地温上昇とともに増加し 30°C の場合に最高となつた。

全糖含有率は茎葉では地温 20°C、根および塊茎では地温 10°C の場合に最高となり、地温上昇とともに

順次減少した。

澱粉含有率は茎葉では 30°C、根では 20°C で最高となつたが、塊茎では地温上昇とともに増加し 30°C の場合に最高となつた。

還元糖含有率は茎葉では 20°C、根および塊茎では 10°C で最高となり、地温の上昇とともに順次減少した。

非還元糖含有率は茎葉および根では 20°C で最高となつたが、塊茎では 10°C で最高となり、地温の上昇とともに順次減少した。

窒素含有率は茎葉および根では地温 10°C で最高となり、地温の上昇とともに減少したが、塊茎では地温の上昇とともに増大し 30°C で最高となった。

磷酸含有率は茎葉および根では地温 10°C で最高となったが、塊茎では地温上昇とともに増大し 30°C で最高となった。

ビート根中糖分および茎葉部の化学成分におよぼす恒地温の影響を調査した結果を Table 19 に示した。

根中糖分およびマルクは地温 12°C で最高となり、地温上昇とともに順次減少した。純糖率も 12°C で最高となった。還元糖は地温上昇とともに増大し、地温

22°C で最高となった。

茎葉部では全糖および蔗糖含有率は地上部とともに増加し 22°C で最高となった。還元糖含有率も同様に増加し 27°C で最高となった。

馬鈴薯において処理 3 週間の間に増加した地上部および地下部の炭水化物収量および地下部での蓄積率と地温との関係を調べた結果を Table 20 に示した。

馬鈴薯の地上部での炭水化物増加量は地温上昇とともに増大したが、地下部での増加量は地上部とは逆に地温 10°C で最高となり、地温上昇とともに順次低下した。次に、地下部への蓄積率は地温の最も低い 10°C

Table 19. Effect of soil temperature on the sugar contents of sugar beet, 1961.

Treatment (soil temp.)	Ref. brix	Sucrose fresh wt.	Apparent purity	Marc	Red. sugar fresh wt.	Chemical compositions of tops (in percentage of dry wt.)			
						Total sugar	Red. sugar	Sucrose	Nitrogen
Before treatment	20.4	16.60	87.5	5.30	—	24.5	11.9	12.6	3.0
12°C	21.8	19.11	87.5	6.52	0.94	24.5	11.1	13.3	2.7
17°C	22.5	19.03	84.4	6.04	1.08	26.7	11.7	15.1	2.6
22°C	21.8	18.68	85.6	5.82	1.16	29.5	12.3	17.3	2.6
27°C	21.0	16.23	77.5	5.69	0.92	28.5	14.1	14.4	2.9

Table 20. Effect of soil temperature on the increase of total carbohydrate of potato.

Treatment Soil temp.	Increase of carbohydrate during 3 weeks		Increase rate of carbohydrate during 3 weeks		Storage rate of carbohydrate in root
	Top	Root	Top	Root	
	mg	mg	%	%	
10°C	49	1891	19.3	242.5	97.5
20°C	123	1774	48.6	226.5	93.5
30°C	140	1394	55.2	178.7	90.9

Standard carbohydrate yield (No treatment)

Top...253.4 mg, Root...779.8 mg.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of carbohydrate in root}}{\text{Increase of carbohydrate in top and root}} \times 100$

Table 21. Effect of soil temperature on the increase of fresh weight of sugar beet.

Treatment Soil temp.	Increase of fresh weight during 5 weeks		Increase rate of fresh weight during 5 weeks		Storage rate of fresh root weight
	Top	Root	Top	Root	
	g	g	%	%	
12°C	31.5	78.9	21.4	122.7	71.46
17°C	36.0	82.0	24.5	127.5	69.49
22°C	79.8	72.7	54.3	113.1	47.67
27°C	87.5	66.2	59.5	102.9	43.07

Standard fresh weight yield (No treatment)

Top...147.0 g, Root...64.3 g.

Storage rate...  $\frac{\text{Increase of fresh root weight}}{\text{Increase of fresh top and root weights}} \times 100$



で最高となり、地温上昇とともに減少した。

また、処理5週間に増加したビートの茎葉部および根部の生体重および根部への蓄積率と地温との関係を調べた結果を Table 21 に示した。

茎葉部での増加量は地温上昇とともに高くなり 27°C で最高となつた。根部での増加量は地温 17°C で最高となり、温度上昇とともに低下した。根での蓄積率は地温の最も低い 12°C で最高となり、地温上昇とともに低下した。

### 3. 考 察

Table 16 から明らかなように、馬鈴薯での茎葉部の生育は地温 20°C で、塊茎は 10°C で最もよかつた。これらは塊茎形成が短日・低温で促進されるとの Werner の報告<sup>30)</sup>とよく一致した。本報 I の 20—15°C、15—13°C 変温下で塊茎形成が良好であつたのは本実験と異なり日長の影響が少なかつたものと解された。

また、Table 16 および 17 から明らかなように、両作物とも地上部の生育適温と地下部の適温がくいちがうことが認められた。

馬鈴薯の塊茎においては、澱粉は地温の上昇とともに増加し、糖類は逆に低温の場合に高くなつた。また、ビートの根中糖分も低地温ほど高くなり、馬鈴薯と同じ傾向を示すとともに温暖作物である甘藷とも同じ傾向を示した。これらの結果は本報 I での結果とともに Ulrich の結果<sup>30)</sup>ともよく一致した。

ビートの含糖量は温度の低い未処理から暖かい phytotron に入ると低下し、茎葉、根重が増加した。以上のことから考察すれば、暖地での早春における収穫の場合、含糖量の低下は茎葉生長のため根中糖分の再移動がおこるためであらう。

Table 20 および 21 に明らかなように、馬鈴薯の地下部への炭水化物蓄積は地温の最も低い 10°C で高く、地温上昇とともに低下した。一方ビートの根での蓄積率も地温 12°C で高く、温度上昇とともに低下し、本報 II および III での甘藷の地下部の蓄積率と全く同じ傾向が認められた。また、本報 I の気温の低い場合に馬鈴薯およびビートの蓄積率が高くなつた事実とも同じ傾向を示した。従つて、炭水化物の植物体内での利用を論ずる場合には、本研究で用いた地下部の蓄積で表示することが適切であると思われた。

### 4. 摘 要

1) 馬鈴薯・ビートの生育および物質蓄積の最適地温を明らかにするとともに、温暖作物の甘藷で得た温

度作用の共通点を検討した。

2) 馬鈴薯をパーミキュライト・パーライトを混合して入れた 1/5,000 a ポットに植え、15°C 恒温ガラス室にて地温を 10, 20, 30°C にかえ3週間栽培した。ビートは1本植えとし、17—14°C のガラス室にて地温を 12, 17, 22, 27°C にかえ5週間栽培した。

3) 馬鈴薯の生育は地温 20°C で最も良好となつたが、塊茎乾量は地温 10°C で最高となり地温上昇とともに減少した。ビートの茎葉部重は地温上昇とともに順次増大し地温 27°C で最高となつた。根重は地温 17°C で最高となり地温上昇により減少した。

4) 馬鈴薯塊茎においては、澱粉含有率は地温上昇とともに増加し、地温 30°C で最高となつたが、非還元糖含有率・還元糖含有率は逆に地温 10°C で最高となり地温上昇とともに低下した。ビートにおいても根中糖分は低地温の 12°C 最高となり、地温上昇とともに順次減少した。

5) 馬鈴薯地下部の全炭水化物増加は地温上昇とともに増大したが、地下部での増加は逆に地温 10°C で最高となつた。地下部での蓄積率は馬鈴薯・ビート両作物とも低地温の 10°C および 12°C で最高となり地温上昇とともに順次減少した。

## V. 要 約

温度作用と物質の転流・蓄積との関係、生長と蓄積との間の同化物質の利用分配と温度との関係を究明する目的で温暖作物の甘藷、冷涼作物の馬鈴薯およびビートを用いて研究を行なつた。

1) 甘藷および馬鈴薯が昼夜変温(昼温一夜温; 15—13°C, 20—15°C, 25—20°C, 25—13°C) および昼夜恒温(15—15°C, 20—20°C) で3週間ポット栽培された。甘藷の地上部、地下部および馬鈴薯の地上部、根の乾物収量は温度上昇とともに増加したが、馬鈴薯の塊茎乾量は 25—20°C でより 20—15°C, 25—20°C でより 25—13°C で高かつた。

温度に関して甘藷および馬鈴薯で共通の傾向を示した化学成分は温度上昇とともに減少した地上部の窒素および磷酸含有率、温度上昇とともに増大した貯蔵器官の澱粉および窒素含有率であつた。これに対して両作物で全く逆の傾向を示した化学成分は貯蔵器官での還元糖含有率であつた。植物体全体の炭水化物増加に対する地下部の炭水化物増加を地下部における炭水化物の蓄積率としたが、馬鈴薯では 15—12°C で最高となり温度上昇とともに低下した。

同様に昼夜変温 (17—14°C, 22—17°C, 27—22°C) で5週間ポット栽培したビートの茎葉部は温度上昇とともに生体重を増大し 27—22°C で最高となったが、根重は 22—17°C で最高となり、次に 27—22°C で重かつた。根中水分は 17—14°C で最高となり、温度上昇とともに減少した。

2) 昼間および夜間 12 時間、地温を夫々 10, 20, 30 および 40°C に保つて 3 週間甘藷を栽培した。甘藷地上部の乾量は夜間地温 20°C において最高であり、夜間地温 40°C において最低であつた。地下部の乾量は夜間地温 20°C で最高であり、昼間地温 40°C で最低であつた。昼間地温区においては地上部、地下部ともに 30°C で乾量が最高となり、夜間地温区では 20°C で最高となつた。地下部における炭水化物の蓄積率は昼間地温区では 30°C, 夜間地温区では 20°C で最高となつた。

3) 一定気温 (20—15°C, 25—20°C) の下で地温を 15°C および 30°C として 3 週間栽培された甘藷地上部の乾量は低気温区で地温 30°C で最高となつた。しかし根の乾量は地温 15°C で両気温区とも高くなつた。塊根乾量は低気温区では地温 15°C で、高気温区では地温 30°C で高くなつた。地下部における炭水化物の蓄積率は両気温区ともに低地温の 15°C で高くなつた。

4) 恒地温 (10, 20, 30°C) の下で 3 週間栽培された馬鈴薯の地上部および根乾量は地温 20°C で最高となつたが、塊根は地温 10°C で最高となり、地温上昇とともに減少した。地下部における炭水化物蓄積率は地温 10°C で最高となつた。恒地温 (12, 17, 22, 27°C) の下で 5 週間栽培したビートの茎葉重は地温上昇とともに増加し 27°C で最高となり、根重は 17°C で最高となつた。根中水分は 12°C で最高となり根重と同じく地温上昇とともに順次減少した。

以上の結果から、温度の低い場合には地下部での蓄積割合が高くなり、温度上昇とともに地上部の生長割合が高くなる傾向が認められた。従つて、初期生長を旺盛にし光合成面積を増大させ、後期には生長を抑制し同化物質の転流・貯蔵を増大させる栽培技術の確立がのぞまれる。

## Literature

- 1) Bushell, J.: The relation of temperature to growth and respiration in the potato plant. *Tech. Bull.* **34**: 1-29. 1925.
- 2) Camus, G. C., and F. W. Went: The thermostability of three varieties of *Nicotiana tabacum*. *Am. J. Botany* **39**: 521-528. 1952.
- 3) Curtis, O. F. and D. G. Clark: An introduction to plant physiology (McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1950)
- 4) 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.
- 5) 長谷川 浩, 八尋 健: 高地温が甘藷の生長に及ぼす影響. *日作紀* **26**: 37-39. 1957.
- 6) 花田正計, 小島 均: 甘藷塊根形成と土壤温度. *九州農業研究* **8**: 47-48. 1951.
- 7) 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.
- 8) Hull, H. M.: Carbohydrate translocation in tomato and sugar beet with particular reference to temperature effect. *Am. J. Botany* **39**: 661-669. 1952.
- 9) Ketellapper, H. J.: The effect of soil temperature on the growth of *Phalaris tuberosa* L. *Plant Physiol.* **13**: 641-647. 1960.
- 10) Monselise, S. P. and F. W. Went: Effect of temperature on growth and dry matter accumulation of pea. *Plant Physiol.* **33**: 372-374. 1958.
- 11) 村岡洋三, 佐藤知義: たばこ苗の生理学的研究 IV 地上部と地下部の温度の相異による苗の素質. *日作紀* **22**: 88-90. 1954.
- 12) 村岡洋三, 大堀和信: 恒温と変温条件下におけるたばこの發育反応. *日作紀* **26**: 139-. 1957.
- 13) Nightingale, G. T.: Effect of temperature on metabolism in tomato. *Bot. Gaz.* **95**: 35-58. 1934.
- 14) 西内 光: 温度系効果説. 群芳園 京都 1949.
- 15) 野口弥吉, 菅原友大: 甘藷根群の形成構に関する研究. *農及園* **15**: 1-8. 1940.
- 16) 野田健児, 江口末鳥, 他: 暖地でんさいの生育相に関する研究 I. *日作紀* **29**: 288-291. 1961.
- 17) Raleigh, G. J.: Effect of varying day and night temperatures on seedstalk elongation in 456 lettuce. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* **73**: 374-356. 1959.
- 18) 関岡 行, 江原 薫: 甘藷および馬鈴薯の生育並びに物質蓄積に及ぼす温度の影響. *日作紀* **29**: 312-316. 1961.
- 19) 関岡 行, 江原 薫: 甘藷地下部の層別収量と地中温度日変化との関係について. 日本作物学会

- 九州支部会報 17:39-41, 1961.
- 20) 関岡 行: 2・3 根葉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・蓄積と気温および地温との関係. 九大農芸誌 20:107-118, 1968.
- 21) 関岡 行: 2・3 根葉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 II. 物質の転流・蓄積と植物体内の部分温度との関係. 九大農芸誌 20:119-130, 1963.
- 22) Shanks, J. B. and A. Laurie: Rose root studies: Some effect of soil temperature. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 54:495-499, 1940.
- 23) 杉 顯夫, 安藤隆夫: 馬鈴薯の塊茎肥大におよぼす気温並びに地温の影響. 日作紀 22:123-129, 1953.
- 24) 戸前義次: 甘藷塊根形成に関する研究. 農試報, 68:1-96, 1950.
- 25) Ulrich, A.: The influence of temperature and light factor on the growth and development of sugar beet in controlled climatic environment. Agr. Jour. 44:66-73, 1952.
- 26) 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.
- 27) Went, F. W.: Plant growth under controlled conditions. II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. Am. J. Botany 31:135-150, 1944.
- 28) Went, F. W.: Plant growth under controlled conditions. III. Correlation between various physiological processes and growth in the plant. Am. J. Botany 31:597-616, 1944.
- 29) Went, F. W.: The effect of temperature on plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 4:347-362, 1953.
- 30) Werner, H. O.: The effect of temperature, photoperiod and nitrogen level upon tuberization in the potato. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 31:507-507, 1934.
- 31) 山本健吉, 野田健児: 馬鈴薯の塊茎形成肥大に対する環境要素の影響に関する研究. 東北農研報 4:15-1952.
- 32) Younger, V. B.: Growth of U-3 bermudagrass under various day and night temperatures and light intensities. Agr. Jour. 51:557-560, 1959.

#### Summary

The studies were made of growth and storage of some chemical compositions of sweet potato, potato and sugar beet under temperature conditions. Sweet potato and potato were grown at the following day-night temperatures, 15-13°C, 20-15°C, 25-20°C, 25-13°C, 15-15°C and 20-20°C for 3 weeks. The dry matter yield of top and tuberous root in sweet potato and those of top and root in potato increased as the temperature rose, but those of potato tuber was higher at 20-15°C than at 25-20°C, and at 25-13°C than at 25-20°C.

Nitrogen and phosphorus contents of top in the two crops decreased as the temperature rose and starch and nitrogen contents of storage organ in the two crops increased as the temperature rose.

The storage rate of carbohydrate in potato root increased as the temperature fell, and was highest in 15-13°C.

When sugar beets were grown at the following day-night temperatures; 17-14°C, 22-17°C and 27-22°C for 5 weeks, top fresh weight increased with the rising temperature and the greatest fresh weight of root resulted in plants grown at a soil temperature of 22-17°C, while sucrose content in root decreased with the rising temperature.

When sweet potatoes were grown at soil temperatures of 20°C, 30°C and 40°C during the daytime for 3 weeks, the dry matter yield and storage rate of carbohydrate in root were the highest at the soil temperature of 30°C. Dry matter yields of those plants grown at the same soil temperatures during night were the highest at 20°C and decreased as the soil temperature rose.

When sweet potatoes were grown at the soil temperatures of 15°C and 30°C under the two different air temperature conditions (day-night temperatures; 20-15°C and 25-20°C), the dry matter yield of top was higher at the soil temperature of 30°C than at 15°C under both air temperature conditions. Under the low air temperature condition, the dry matter yield of tuberous root was higher at the soil temperature of 15°C than at 30°C, but the yield was higher at 30°C than at 15°C under the high air temperature condition. The storage rate of carbohydrate in root was higher at 15°C than at 30°C under both temperature conditions.

When potatoes were grown at the soil temperatures of 10, 20 and 30°C for 3 weeks, the dry matter of tuber and storage rate of carbohydrate in root increased as the soil temperature decreased to 10°C.

When sugar beets were grown at the soil temperatures of 12, 17, 22 and 27°C for 5 weeks, top fresh weight increased as the soil temperature fell to 17°C, but the sucrose content of root steadily increased as the soil temperature fell from 27°C to 17°C.