加温時期の異なるブドウ ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ 樹の炭水化物栄養に及ぼす地温の影響

久保田尚浩・島村和夫

岡山大学農学部 700 岡山市津島

Effects of Root Temperature under Forcing Conditions on Carbohydrate Contents of ‘Muscat of Alexandria’ Vines

Naohiro KUBOTA and Kazuo SHIMAMURA

Faculty of Agriculture, Okayama University, Tsushima, Okayama 700

Summary

Investigations were carried out to clarify the effects of root temperature on carbohydrate contents in potted or benched ‘Muscat of Alexandria’ vines grafted on ‘Hybrid Franc’ rootstock. Root temperature was controlled to 13°C and 27°C from December and from February, under forcing conditions. Seasonal changes in carbohydrate contents in unheated vines were also determined for comparison.

1. In vines heated from both December and February, the higher the root temperature, the fewer days to budbreak, the higher the budbreak percentage, and the more vigorous the shoot growth, especially in forcing from December. When forced from December, development of flower clusters was more vigorous at 27°C than at 13°C, while there was little difference between the two temperatures from February forcing.

2. In unheated vines, starch content decreased toward bursting stage in all parts, including rootlets (below 2 mm in diameter), lateral roots, trunk and cane, especially in the rootlets. However, total sugar content in each part increased up to January or February; after reaching a maximum level, it decreased rapidly toward bursting, especially in canes. When forced from December, total sugar content in canes increased after the start of the treatments at both 13°C and 27°C, and decreased toward bursting, especially at 27°C, where budbreak was promoted. On the other hand, there was a marked decline just after the start of the treatments on total sugar content at either temperature forced from February. Starch content in rootlets decreased markedly toward bursting at 27°C with forcing from both December and February, whereas no notable difference between the two temperatures was observed in canes. The pattern of seasonal changes in trunk and lateral roots corresponded to that in canes and rootlets, respectively.

3. The lowest concentration of total sugar in sap bled from canes was observed at bursting stage in unheated vines, whereas in heated vines it occurred just after the start of the treatments in all plots. Sugar concentration in sap was always lower at 27°C than at 13°C, regardless of time of forcing. When heated from December, content of starch and sugars in shoots was less at 27°C, at which growth of shoots and clusters was vigorous, than at 13°C, but little difference was found between the two temperatures from February.

4. From these results, it was considered that the poor growth of shoots and clusters which occurred at the low root temperature of 13°C in vines heated from December, due to the fact that the seasonal change in carbohydrate nutrients in vines was small throughout the short growing period, and that the utilization of carbohydrates in shoots was also small.

緒 言

ブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’を12月のような早い時期から加温すると、2月以降の加温や無加温のものに比べて発芽や新梢生長が劣り、花穂の発育不良が生じやすく、栽培上の大きな問題点とされている。著者ら(13, 14)は、このような生育不良に対して地中加温の効果が大きく、地温を高めることで、発芽や花穂発育が著しく優れることを報告した。さらに、12月のような早い時期からの加温で地中加温の効果が得られる背景を根の生長や生理活性(11)及び樹体内の生長調節物質(12)などの点から検討してきた。

永年生作物であるブドウの場合、その枝梢、幹、根などには生育に密接に関与する炭水化物や窒素化合物が多量に含まれ、その含量や組成が季節的に大きく変動することはよく知られている(10, 24)。また、ブドウ樹の開花・結実期までの生育に必要な炭水化物は前年に蓄えられた養分に依存するとされている(18)。このことからすると、12月のような早期から加温されるブドウ樹で地中加温の効果が大きい背景として、樹体内に貯蔵されていた炭水化物の利用が加温時期や地温条件により相違したことが考えられる。ブドウ樹体内の炭水化物栄養の消長についてはこれまでに多くの報告(1, 3, 7, 9, 24)があるが、促成条件下で地温との関連から調査したものは皆無と思われる。

ここでは、12月と2月から加温した‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’樹の炭水化物栄養に及ぼす地温の影響を調査し、地上部の生育との関係を考察した。

材料及び方法

イブリ・フラン台の3年生‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’を1/2000 aのワグナーポットに土耕または砂耕し、実験に供するまでガラス室外で育成した。1980年12月13日(12月加温)と翌年2月15日(2月加温)から各処理区の開花期まで、17℃以上に加温したガラス室内で、自製の地温コントロール装置を用いて、地温を13℃と17℃に調節した。各処理区8～14個体を供試し、このうち土耕の2個体については発芽、新梢生長及び花穂発育を調査した。残りの砂耕の個体については、中村(19)がブドウ‘デラウェア’で用いたのと同じ組成の培養液を1週間毎にポット当たり1ℓずつ施与した。これら個体を処理開始時から開花期まで、12月加温では5～6回、2月加温では3回経時的に掘り上げ、細根(直径2 mm以下)、太根、幹及び結果母枝に分け、分析時まで-20℃で凍結貯蔵した。また、秋冬期の間ガラス室外で育成した無加温樹についても11月から翌春4月の発芽期まで約1ヵ月ごとに同様のサンプリング

を行った。

1981年12月18日(12月加温)と翌年2月16日(2月加温)から加温条件下で地温を13℃と27℃に調節したベンチ植え‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’樹について、12月加温では処理開始直後、処理10日後及び発芽期の計3回、また2月加温では処理開始直後と発芽期の計2回、結果母枝の切り口からいっ泌する樹液、並びに各地温区における展葉期の新梢をサンプリングした。また、無加温樹についても落葉期、発芽期及び展葉期に樹液を採取した。これら試料は分析時まで-20℃で凍結貯蔵した。

樹液以外の各試料は凍結乾燥後粉碎した後、80%熱エタノールで3回抽出を繰り返した。抽出液のエタノールを除去した後、脱塩水で定容後クロロホルムで精製した。その一定量及び水解した樹液を糖の内部標準物質ペンタエリトリールとともにイオン交換樹脂CG-12 O(H⁺型)とIRA-45(OH⁻型)を連結したカラムに通した後、脱塩水を流した。流出液の一定量を乾燥して得られた糖区分を常法(6, 23)に従ってTMS化した。こうして得られたTMS誘導体をガスクロマトグラフィー(島津6AH型)に注入し、同様にして得られた標準曲線から糖を分別定量した。デンプンの分析には糖のエタノール抽出残さを用いた。残さのエタノールを除去した後、過塩素酸で3回抽出を繰り返した。抽出液を煮沸湯煎中で加水分解した後、水酸化ナトリウムで中和後定容にした。この一定量にアルカリ性銅試薬とフェノール試薬を加えて発色させ、500 nmの吸光度を測定し、同様にして得られた標準曲線から糖含量を算出した後、デンプン含量に換算した。

結 果

ポット植え個体の場合、12月、2月加温ともに13℃区よりも27℃区で発芽が早く、発芽率が高く、新梢生長が優れ、特に12月加温で地温による差が顕著であった。花穂の発育は、12月加温では13℃区よりも27℃区で著しく優れたが、2月加温では地温による差は小さかった(第1表)。ベンチ植え個体の発育状況もこれとほぼ同様の結果であった。

無加温樹のデンプン含量は各部位とも11月以降発芽期まで減少し、特に細根での減少が大きかった。加温樹のデンプン含量も各部位とも発芽に向けて減少する傾向であったが、2月加温では両地温区とも細根以外での変化が小さいのに対し、12月加温では13℃区よりも27℃区の減少が大きく、特に細根で地温による差が著しかった(第1図)。

無加温樹及び加温樹の全糖含量の変化を第2図に示し

Table 1. Effects of root temperature under forcing conditions on budbreak, shoot growth and development of flower clusters of 'Muscat of Alexandria' vines.

Treatment ^z	No. of days to budbreak	Percentage of budbreak	Shoot length (cm)	No. of flower clusters per shoot	Length of flower cluster (cm)	No. of florets per cluster
Forcing from December						
13°C	43	45.5	63.8	1.1	12.1	466.2
27°C	32	81.3	197.1	1.5	16.0	989.2
Forcing from February						
13°C	19	75.7	107.7	1.5	18.9	1,009.9
27°C	17	90.5	120.6	1.7	19.3	1,118.4

^z Air temperature during each treatment was maintained at 17°C or higher. **Fig. 1.** Effects of root temperature under forcing conditions on starch level in cane, trunk, lateral roots and rootlets of 'Muscat of Alexandria' vines.

Arrows denote bursting time.

た。すなわち、無加温樹では各部位とも11月以降増加し、幹では1月に、またこれ以外の部位では2月にピークに達した後、発芽期には減少し、特に結果母枝と幹での変化が大きかった。2月加温の場合、結果母枝、幹ともに発芽に向けて急減し、また13°C区よりも27°C区での減少が幾分大きかった。12月加温の場合、結果母枝では両区とも処理後増加した後、減少して発芽に至り、特に27°C区での変化が大きかった。幹では27°C区で処理直後の増加がみられない他は、結果母枝とほぼ同様の変

Fig. 2. Effects of root temperature under forcing conditions on sugar level in cane, trunk, lateral roots and rootlets of 'Muscat of Alexandria' vines.

Arrows denote bursting time.

化を示した。根の全糖含量は両加温時期とも13°C区よりも27°C区で少なかったが、その変化は地上部に比べて小さかった。

結果母枝の主な糖はショ糖、ブドウ糖、果糖であった。各糖の変化の様相は無加温樹、加温樹ともに全糖の場合とほぼ同様であった。2月加温では各糖とも発芽に向けて減少し、特に27°C区のショ糖の減少が大きかった。12月加温では両区ともショ糖の変化が小さいのに対し、

Fig. 3. Effects of root temperature under forcing conditions on sugar levels in cane of 'Muscat of Alexandria' vines. Arrows denote bursting time.

Fig. 4. Effects of root temperature under forcing conditions on sugar levels in rootlets of 'Muscat of Alexandria' vines. Arrows denote bursting time.

ブドウ糖と果糖は全糖の変化と同様に処理後増加した後、発芽に向けて減少し、特に27°C区での変化が大きかった。なお、いずれの加温樹でもブドウ糖と果糖が開花期に幾分増加した(第3図)。

細根ではショ糖が全糖の約60%を占め、この他にブドウ糖と果糖が等量含まれたが、各糖とも無加温樹での変化は小さかった。加温樹では開花期までの各糖含量の変化は小さかったが、開花期にはショ糖が著しく減少したのに対し、ブドウ糖と果糖は逆に増加した(第4図)。

樹液の糖としては、無加温樹、加温樹ともにブドウ糖と果糖がほとんどで、この他に微量のショ糖が含まれた。12月加温の27°C区では処理直後にブドウ糖の割合が高かったが、これ以外ではその割合に大きな差はみられなかった。無加温樹における樹液の全糖濃度は落葉期より

Fig. 5. Effects of root temperature under forcing conditions on sugar levels in sap bled from canes.

Fig. 6. Effects of root temperature under forcing conditions on levels of starch and sugar in young shoots of 'Muscat of Alexandria' vines.

も発芽期に高く、また展葉期には急減した。加温樹のそれは処理直後よりも発芽期に著しく低く、また処理直後の濃度は2月加温では地温による差が小さいのに対して、12月加温では13°C区よりも27°C区で低かった(第5図)。

展葉期の新梢のデンプン含量は2月加温よりも12月加温で多かったが、両加温時期とも地温による差は小さかった。全糖含量は、2月加温では地温による差はほとんど認められなかったが、12月加温では27°C区よりも13°C区で著しく多かった。主な糖はブドウ糖、果糖、ショ糖で、この他に少量のイノシトールが含まれたが、その割合には加温時期や地温による顕著な差はみられなかった(第6図)。

考 察

ブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’を用いた本実験において、無加温樹の炭水化物栄養の変化は、デンプンが根部では11月以降発芽に向けて著しく減少し、結果母枝では1～2月の冬期に最も少ないのに対して、全糖がこの時期に最も多いなどこれまでの報告(1, 3, 7, 9, 24)とはほぼ一致した。秋冬期における枝梢での炭水化物栄養のこのような変化は木本植物では広く認められる現象で、デンプンから糖への転換に伴い細胞液の浸透圧が高まることによって耐凍性を増すためと言われている(22)。これらのことから明かなように、本実験の2月加温は結果母枝の糖が11月以降増加して最大に達し、一方デンプンが最小となり、また細根のデンプンが著しく少なくなつてからの加温であるのに対し、12月加温は秋冬期におけるこのような変化の途中もしくはそれ以前からの加温であった。このため、加温条件下で発芽や開花に至る炭水化物栄養の変化は加温時期により著しく異なつた。

すなわち、2月加温樹ではいずれの地温条件でも無加温樹の場合とはほぼ同様の炭水化物栄養の変化を経て発芽した。ところが、12月加温樹では結果母枝の糖含量は加温後いずれの地温でも増加し、その後減少して発芽に至り、あたかも無加温樹でみられたと同様の変化を示したが、その変化は無加温樹に比べて著しく小さく、特に発芽や発芽後の新梢並びに花穂の発育が劣った13℃区で小さかった。この結果は、12月加温樹の発芽に至る炭水化物栄養の変化は2月加温樹や無加温樹とは基本的に異なるとしたこれまでの報告(21)とは矛盾するものである。すなわち、岡本(21)は、12月加温樹では2月加温樹や無加温樹とは異なり、結果母枝の糖含量が展葉期に増加するとしているが、本実験では逆に発芽期前後の結果母枝の糖含量は、いずれの地温条件でもそれ以前に比べて著しく少なかった。ブドウの枝梢あるいは芽の中の糖が発芽に向けて減少することはよく知られている(5, 17)。また、黒井(15)は石灰窒素処理によりブドウの発芽が促進される一つの要因として、呼吸活性の増加に伴う枝梢の糖の減少をあげている。これらはいずれも無加温樹について得られた結果で、本実験とは条件が異なるが、発芽に際しては結果母枝や芽の糖含量は減少すると考える方が妥当性があるように思われる。藤伊(2)は、休眠の解除に際してはデンプンや脂質に由来する低分子の糖が発芽に必要なエネルギーの供給源となり、また新組織形成の材料として利用されるとしている。

本実験では糖組成についても検討したが、結果母枝ではショ糖、ブドウ糖、果糖、細根ではショ糖の占める割

合が高く、これまでの報告(7, 9, 21, 24)とはほぼ一致した。また、本実験ではこれら糖組成に加温時期や地温による大きな差は認められなかった。Kliwer(8)はこの他に微量のスタキオース、ラフィノース、マルトースなどが含まれるとしている。本実験では樹液の糖組成についても調査したが、いずれの場合もブドウ糖と果糖が多く、この他にショ糖がわずかに含まれ、またその割合には12月加温の27℃区における処理直後を除いては大差なかった。Ohkawa(20)は、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の樹液に含まれる糖としては、ブドウ糖と果糖が主で、他にショ糖が少量含まれ、これらに季節による増減はあるもののその割合には大きな変化がないことを報告している。バラ科などある種の植物を除いては、一般にはショ糖が糖の主な転流形態とされている(4)が、これらの結果からみて再転流する場合の形態は異なることが考えられる。また、Ohkawa(20)は、樹液の糖は2月以降発芽や開花に向けて急減するとしているが、本実験の無加温樹では発芽期に高く、展葉期に急減した。この相違の原因は明らかでないが、サンプリングの時期や方法が異なつたことによるものかも知れない。樹液の糖はいずれの加温時期でも処理直後よりも発芽期に著しく低く、特に発芽が促進された27℃区での低下が大きかった。これは、既報(13)のように樹液のいっ泌量そのものが地温条件により大きく異なるため、その濃度の変化だけでは十分に説明できないが、27℃区では呼吸その他による糖の消費に加えて樹液として樹体外に排出された量が多かつたことによると思われる。

三宅ら(16)は、加温時期の異なる‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’樹の花穂出現期における新梢の炭水化物含量はデンプン、全糖ともに2月加温樹や無加温樹よりも12月加温樹で多い傾向であるとしている。本実験の結果もおおむね同様で、展葉期の新梢のデンプン及び全糖含量は2月加温樹よりも12月加温樹で多かつた。また、2月加温樹では地温による差はみられないのに対して、12月加温樹では新梢や花穂の発育が劣った13℃区でデンプン、全糖ともに多かつた。このことは、12月加温樹では低地温ほど糖の利用が劣り、結果母枝から移行してきた糖が生長に有効に使われることなく新梢に集積していることを示しているのかも知れない。特に、13℃区でデンプンが多いことは、新梢の生育が劣るために、糖が細胞壁の構成を始めとして生長に必要なより高次の物質に合成されることなく、デンプンとして蓄積した割合が高かつたことを示唆している。

これらを総合すると、12月のような早い時期からの加温であっても、ブドウ樹体内の発芽や開花に至る炭水化

物栄養の変化の基本的なパターンには無加温樹の場合と大きな相違はないといえる。むしろ、12月加温樹ではその変化が小さく、また短期間に行われること、さらに発芽後の新梢での糖の利用が劣り、特に低地温ほどその傾向が著しいことが12月加温における生育不良と深く関係していると推察される。

摘 要

イブリ・フランを台木とした鉢植え及びベンチ植えの‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’樹について、加温条件下で12月と2月から地温を13℃と27℃に調節し、樹体内の炭水化物栄養に及ぼす影響を生育との関連において調査した。比較のために無加温樹についても同様の分析を行った。

1. 12月、2月加温ともに13℃区よりも27℃区で発芽並びに新梢生長が優れ、特に12月加温で地温による差が大きかった。花穂の発育は、12月加温では13℃区よりも27℃区で優れたが、2月加温では地温間での差は小さかった。

2. 無加温樹の場合、各部位ともデンプン含量は11月以降発芽期まで減少し、特に根での減少が大きく、一方全糖含量は1～2月にピークに達した後、発芽に向けて減少し、特に結果母枝での減少が大きかった。加温樹の場合、結果母枝の全糖含量は、2月加温では両地温区とも処理後急減したが、12月加温では増加後減少して発芽し、特に発芽の優れた27℃区で大きな変化を示した。デンプン含量は、細根では両加温時期とも27℃区での減少が大きかったが、結果母枝では地温による差は小さかった。幹及び太根におけるこれらの変化はそれぞれ結果母枝及び細根のそれとほぼ同様であった。

3. 樹液の糖濃度は、無加温樹では展葉期に、また加温樹ではいずれの処理区でも発芽期に最も低かった。いずれの加温時期及び採取時期とも13℃区よりも27℃区の糖濃度が低かった。展葉期の新梢のデンプン及び全糖含量は、2月加温よりも12月加温で多かった。両者とも2月加温では地温による差は小さかったが、12月加温では13℃区よりも新梢や花穂の生育が優れた27℃区で少なかった。

4. 以上のことから、12月加温の低地温区における生育不良には、加温後発芽までの樹体内での炭水化物栄養の変化が小さく、また短期間に行われること、さらに新梢での糖の利用が小さいことが深く関係していると推察された。

引用文献

- EIFERT, J., M. PANCZEL und A. EIFERT. 1961. Änderungen des strake und zuckergehaltes des Rebe während der ruheperiode. *Vitis* 2: 257-265.
- 藤伊 正. 1975. 植物の休眠と発芽. 東大出版会. 東京.
- 広保 正. 1961. ブドウ樹の栄養生理的研究(第1報) ブドウ樹の地下部及び地上部の伸長について. *園学雑*. 30: 77-81.
- 北条良夫. 1966. ^{14}C トレーサー法による光合成産物の転流. *植物生理*. 5: 82-89.
- 細井寅三・町田英夫・吉田利一. 1972. さし木中におけるさし穂内栄養成分の動向(第2報) ブドウ休眠枝さしにおける窒素ならびに炭水化物成分の変化. *園学雑*. 41: 127-132.
- 稲葉昭次・伊東卓爾・中村怜之輔. 1977. イチゴの作型と果実中の糖および有機酸組成. *岡山大農学報*. 50: 37-42.
- KLIEWER, W. M. 1965. The sugars of grapevines II Identification and seasonal changes in the concentration of several trace sugars in *Vitis vinifera*. *Amer. J. Enol. Vitic.* 16: 168-178.
- KLIEWER, W. M. 1966. Sugars and organic acids of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.* 41: 923-931.
- KLIEWER, W. M. 1967. Annual cyclic changes in the concentration of sugars and organic acids in 'Thompson Seedless' grapevines. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 91: 205-212.
- KLIEWER, W. M. 1967. Annual cyclic changes in the concentration of free amino acids in grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 18: 126-137.
- 久保田尚浩・江川俊之・島村和夫. 1987. 加温時期の異なるブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の根の生長及びその活性に及ぼす地温の影響. *園学雑*. 56: 280-286.
- 久保田尚浩・新田尚美・江川俊之・島村和夫. 1986. 加温時期の異なるブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の生育と内生長調節物質に及ぼす地温の影響. *岡山大農学報*. 67: 1-9.
- 久保田尚浩・島村和夫. 1984. 加温時期の異なるブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の発芽、新梢生長及び花穂発育に及ぼす地温の影響. *園学雑*. 53: 242-250.
- 久保田尚浩・柳沢穰治・島村和夫. 1987. 12月から加温したブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’成木の発芽、新梢生長及び花穂発育に及ぼす地中加温の効果. *園学雑*. 56: 16-23.
- 黒井伊作. 1974. ブドウ樹の休眠中の石灰窒素処理による生育促進に関する研究. *新潟大学農学部紀要*第12号: 45-49.
- 三宅美智代・岡本五郎・島村和夫. 1979. ブドウの加温栽培に関する生理学的研究(第1報) 早期加温のマスカット樹における新しょう及び花穂の

- 発育不良とその栄養状態. 園学要旨. 昭54秋: 106-107.
17. 水谷房雄・白方宣江・広田龍司・門屋一臣. 1984. 休眠期から発芽期にかけてのブドウ芽内部での養分の動態. 園学要旨. 昭59春: 66-67.
 18. 中川昌一. 1960. 果樹栽培生理新書「葡萄」. p. 159-162. 朝倉書店. 東京.
 19. 中村怜之輔. 1968. ブドウ「デラウェア」の根圏温度に関する研究. 京都大学学位論文.
 20. OHKAWA, M. 1981. Budbreak and xylem exudation in greenhouse-grown *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Alexandria. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 50: 10-14.
 21. 岡本五郎. 1980. 施設栽培における果樹の生理生態—とくにブドウの加温促成に伴う樹体内栄養の変化. 園学シンポジウム要旨. 昭55秋: 32-41.
 22. 匂坂勝之助. 1974. 低温下の植物代謝. 化学と生物 12: 15-29.
 23. SWEELEY, C. C., R. BENTLEY, M. MAKITA and W. W. WELLS. 1963. Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives of sugars and related substances. J. Amer. Chem. Soc. 85: 2497-2507.
 24. WINKLER, A. J. and W. O. WILLIAMS. 1945. Starch and sugars of *Vitis vinifera*. Plant Physiol. 20: 412-432.