

[研究報文]

ブドウ ‘キャンベル・アーリー’ の挿し木苗における地下部への光合成産物の
転流に及ぼす根圏温度の影響元村佳恵¹・岩波 宏²¹弘前大学農学生命科学部 〒036-8561 青森県弘前市文京町 3²独立行政法人農業技術研究機構果樹研究所リンゴ研究部 〒020-0123

岩手県盛岡市下厨川鍋屋敷92

Effect of Root Zone Temperature on Translocation of
Photo-assimilates into Root of ‘Campbell Early’ Cuttings.Yoshie MOTOMURA¹ and Hiroshi IWANAMI²¹Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Bunkyo-cho,
Aomori 〒036-8561, Japan²Department of Apple Research, National Institute of Fruit Tree
Science, Shimokuriyagawa Nabeyashiki, Morioka, Iwate 020-0123, Japan

Seasonal changes in the translocation of ¹⁴C-photo-assimilates into roots was investigated from July to October. The percentage distribution of ¹⁴C in the roots was highest on July 2 (approximately 9%), after which it decreased steadily to only 0.7% on October 9. In plant whose root zone temperature was controlled at 15°C or 25°C for 2 weeks between August and October, the percentage distribution of ¹⁴C in the roots was higher in those controlled at 25°C than in those controlled at 15°C, although the tendency for the distribution of ¹⁴C in the roots to decrease through August to October still remained at 15°C. The results suggest that the decrease in the accumulation of assimilates in roots that occurs in autumn can be expected to be lessened by keeping the root zone temperature at around 25°C.

Key words: photo-assimilates, translocation, root, root cuttings, grape, root zone Temperature

緒 論

果樹では展開した葉で生産された光合成産物は、樹体各部位に分配されるが、果実生産の観点から、果実への分配が重要視されてきた。光合成産物の果実への転流については、ブドウ (3, 4, 15)、リンゴ (2)、カンキツ (7) などで研究が進んでおり、著者ら (10, 11, 12, 13, 14) もブドウの新梢内における光合成産物の葉から果実への転流と分配、およびその経路に関する研究を進めてきた。

しかし、永年作物として、翌年の萌芽や新梢の初期成長を維持するためには、幹や根への養分蓄積が必要である。果樹の樹体内養分の蓄積については、果実の収穫時期が遅れると蓄積が少ないこと (17) や、肥料要素の影響を受けること (6) などが報告

されている。ブドウでは、秋に摘葉を行うと根幹部のデンプン蓄積量が減少し (1)、翌春の新梢や新根の成長が遅れ、花穂の発育不良や結実不良 (花振るい) が起こることがある。しかし、夏季せん定と秋の摘葉の影響が同じではないのは、季節によって各部位への光合成産物の配分が異なるためと推定されている (9)。これらの現象は、落葉期までに樹体や根に蓄積された養分が翌春の萌芽期に重要な働きを示している。Loescher (9) らは炭水化物の根における蓄積は、栄養成長の最盛期を過ぎた比較的遅い季節におこるが、炭水化物以外の物質の蓄積との関連、それらの利用の調節や転流等については解明がはじまったばかりであると述べている。

一方、樹体各部位への養分の蓄積、転流、分配には温度などの環境要因が影響すると考えられる。ブドウでは促成栽培において、地温や加温時期が樹体

2002年 8月 7日 受理

内での栄養の蓄積や移動に及ぼす影響を調査した報告がある(8)。また、イヌツゲの葉から地下部への光合成産物の転流への温度の影響については、根圏温度30℃から42℃での報告がある(16)。しかし、東北地方における月平均地温は25℃を超えることはほとんどない。本研究では、翌年の萌芽や初期成長のために、幹や根にできるだけ多くの養分を蓄積させる方法を模索することを目的として、葉で生産された光合成産物の根への転流について季節変化を調査するとともに、8月から10月に根圏温度を15℃または25℃とした場合の光合成産物の根への分配に及ぼす影響を検討した。

材料と方法

1) 植物材料

‘Campbell Early’ (*Vitis labrusca* L. × *Vitis vinifera* L.) の1年生休眠枝を4月初めに採取し、2芽を含むように挿し穂を作成した。パーミキュライトを発泡スチロール箱(幅30cm×長さ45cm×深さ14cm)に入れたものに1箱あたり約50本を挿し木し、箱全体を黒色の遮光用ネット(一重)で覆った。1日1回灌水を行いながら無加温のガラス室に5月中旬まで置いた。発根した挿し木苗を、川砂とピートモス(4:1)の配合土を詰めた直径12cmの黒色のポリポットに移植した。露地にファイロンの波板を敷き、この上に苗を植えたポリポットを並べ、液肥(住友液肥1号)の500倍希釈液約10mlを1週間に1回与えながら育成した。必要に応じて追肥を行った。新梢を1植物体当たり1本とし、他の新梢を摘除した。新梢に花穂が着生している場合にはすべて摘除した。

上記の植物体の中から、7月2日、16日、8月1日、9日、23日、9月19日、10月9日及び22日の8回、大きさの揃った3個体を選び、3) および4) に示した方法で ^{14}C の施用と調査を行った。

2) 地下部の温度処理

昼温(6時~18時)30℃、夜温(18時~6時)25℃に調節した人工気象室の中に2個の水槽を置き、それぞれ水温を15℃、25℃に調節した。挿し木苗を植えたポリポットを低密度ポリエチレン袋(深さ350mm×幅250mm×厚さ0.05mm)に入れた。ポリポットをポリエチレン袋にいれたまま水槽中の水に浸すこと

によって根圏温度の調節を行った。根圏の温度処理期間を約2週間とし、8月26日~9月9日、9月18日~10月3日、10月5日~10月19日、10月23日~11月7日、及び11月14日から29日の異なる開始時期で5回の処理を行った。これらの実験は自然日長下で行った。1区につき3個体を用い、3) および4) に示した方法により ^{14}C の施用と調査を行った。

3) ^{14}C で標識された二酸化炭素の施用

植物体の根を水洗して砂とピートモスを除去した後、根を蒸留水に浸し、放射性同位元素実験棟のガラス室内に設置された人工気象室に搬入した。人工気象室内の温度を昼温(6時~18時)30℃、夜温(18時~6時)25℃に調節した。個体ごとに新梢全体を低密度ポリエチレン袋中に密閉し、その中に ^{14}C で標識した炭酸ナトリウム(0.37MBq)水溶液を入れ、これに乳酸を加えて ^{14}C で標識された二酸化炭素($^{14}\text{CO}_2$)を発生させた。これらの操作を晴れた日の午前10時~12時前後の天然光が十分照射されている時に行った。 $^{14}\text{CO}_2$ 発生開始から2時間後に新梢を覆っていたポリエチレン袋を除去した。 $^{14}\text{CO}_2$ 施用後の植物体を24、48または72時間、人工気象室内に置いた。これらの実験を自然日長下で行った。

4) 各部位の分割、 ^{14}C の測定及び各部位への分配率の算出

植物体を葉、茎、挿し穂、太根(直径1mm以上)、及び細根の5部位に分けて、各部位の新鮮重を測定した。これを約50℃で通風乾燥し、乾物重を測定した後、粉碎した。

各部位の粉末試料を、Sample Oxidizer (Aloka社製、Model ASC-113)で乾式分解し、液体シンチレーションカウンター(Aloka社製、Model LSC-900)で ^{14}C の放射活性を測定した。植物体の各部位で検出された ^{14}C の合計値(全 ^{14}C)に対する各部位の ^{14}C の%を算出し ^{14}C の分配率とした。

結果と考察

1. 乾物重の季節変化

葉の乾物重は季節が進むにつれて増加し、8月9日に最高となり、その後は減少した(Fig. 1)。この減少は8月下旬以降、黄化、褐変、落葉する葉が

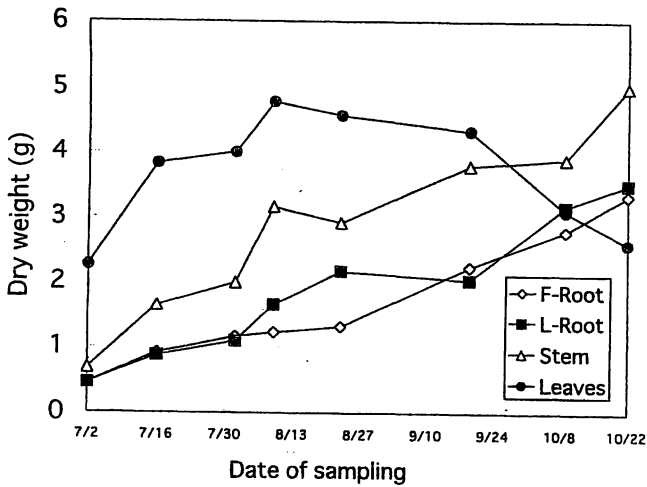


Fig. 1 Seasonal changes in dry weight of different parts of root cuttings. L-Root: roots over 1 mm in diameter. F-Root: roots below 1 mm in diameter.

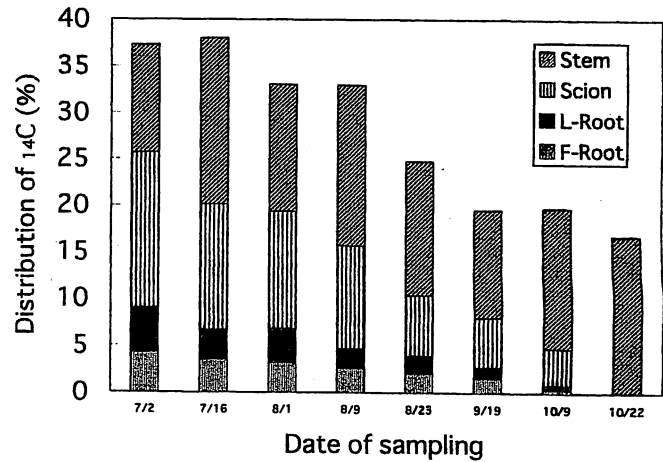


Fig. 2 Seasonal changes in the distribution of ¹⁴C in different parts of root cuttings 48 h after feeding of ¹⁴CO₂. L-Root: roots over 1 mm in diameter. F-Root: roots below 1 mm in diameter.

あったためである。新梢の茎、太根、及び細根の乾物重はいずれも測定期間を通じて増加傾向にあった。9月19日までは葉と茎の乾物重の合計が太根と細根の合計より高かったが、10月にはほぼ同等の値となった。

2. 各部位への¹⁴Cの分配率の季節変化

¹⁴CO₂施与開始から約48時間後における植物体各部位への¹⁴Cの分配をみると (Fig. 2)、新梢では葉に62~83%、茎には11~16%程度が分配された。測定期間を通じて、葉で生産された光合成産物の60%以上が葉に留まり、季節が進むにつれてその値は高くなる傾向が見られた。新梢外では、挿し穂 (16~4%) に多く分配され、太根と細根の合計値は約9~0.7%で、どちらも季節が進むにつれて低下した。9月以降は根への分配率の低下が、挿し穂の分配率

の低下より著しかった。

太根、細根及び挿し穂について、各部位で検出された¹⁴Cの単位乾物重あたりの値 (比活性) を見ると (Table 1)、8月23日までは太根での値が比較的高かったが、9月19日には3部位間でほとんど差がなくなり、10月9日以降は挿し穂よりも低くなった。これらの結果は、季節が進むにつれて新梢からその他の部位への光合成産物の転流速度が遅くなること、太根は8月までは光合成産物の受容体としての活性が高いが、それ以後は低下することを示している。どの時期にも、一定量の¹⁴CO₂を施与したにも関わらず、各部位で検出された¹⁴Cの合計値は季節が進むにつれて徐々に低下した。この結果は、9月には葉の老化が始まり、光合成能力の低下とともに、転流の減少が起こることを示している。

Table 1 Seasonal changes in specific activity of ¹⁴C in various parts of 'Campbell Early' root cuttings, 48 h after feeding of ¹⁴CO₂

	Jul. 2	Jul. 16	Aug. 1	Aug. 9	Aug. 23	Sep. 19	Oct. 9	Oct. 22
Leaves	1678	786	587	1026	1067	1016	338	214
Stem	1031	530	222	368	357	163	53	22
Scion	136a	77a	50a	69a	58b	26a	13b	0
L-Root	639a	184d	112c	103b	62b	31a	2a	0
F-Root	561c	177c	89b	68a	49a	35a	1a	0

Specific activity: ¹⁴C activity per unit dry weight.

L-Root: roots over 1 mm in diameter. F-Root: roots below 1 mm in diameter.

A different letter means a significant difference in the column at a 5% level by

Turkey's multiple range test.

3. 乾物重への根圏温度の影響

光合成産物の各部位への分配には、地温が関与する可能性があると考えられる(8, 16)。東北地方(仙台)の各月の平均気温と平均地温を見ると、平年は気温・地温ともに7月に最高となり23℃前後であるが、それ以後は1月まで低下を続ける。10月には13~14℃となり、1~2月の平均気温は-3.1~-0.5℃、地温は1.5~1.3℃前後である。前項の実験で季節の進行とともに根への分配率の低下が著しく、10月に

はほとんど分配が見られなかったことから、本実験ではこの季節の地温を考慮して、地下部の根圏温度を25℃または15℃に設定し、8月から11月における根への光合成産物の転流に及ぼす影響を調査した。今回の実験では、処理時期に関わらず、地上部・地下部ともに、乾物重には地温による差はほとんど見られなかった(Table 2)。温度処理期間が2週間程度の短期間であり、15℃から25℃の範囲では、根の成長に差異を生じる範囲ではなかったと考えられる。

Table 2 Effect of root zone temperature on dry weight of shoot and roots in 'Campbell Early' cuttings.

Period of temperature treatment	Shoot			Root		
	15℃	25℃	Signif.	15℃	25℃	Signif.
Aug.26~Sept.9	5.3	4.0	*	2.5	2.6	ns
Sept.18~Oct.3	6.6	6.3	ns	4.1	3.9	ns
Oct.5~19	4.3	3.8	ns	3.9	4.2	ns
Oct.23~Nov.7	3.2	3.4	ns	4.5	4.7	ns
Nov.14~29	3.0	3.3	ns	4.1	3.5	*

*: Significant at 5% level; ns: not significant.

Shoot: leaf+stem.

Root: roots over 1 mm (L-Root)+roots below 1 mm (F-Root) in diameter.

4. ^{14}C の各部位への分配率に及ぼす根圏温度の影響

イヌツゲを用いた根圏温度28℃から40℃の実験では、根への ^{14}C -光合成産物の分配は高温ほど減少し、葉に残留する量が多いという実験結果が紹介されている(16)。また、30℃から42℃における試験では、根への ^{14}C -光合成産物の分配にはほとんど差がなかったが、38℃を閾値として、それ以上の温度で根の細胞膜に異常が起こり、根から ^{14}C の漏出が起こることが報告されている(16)。しかし、30℃以下の温度での分配についてはふれていない。本研究では、東北地方におけるブドウ栽培上現実的な温度である15℃と25℃における光合成産物の分配を、果房が着生していない1年生の挿し木苗を用いて検討した。

新梢以外の部位(挿し穂+太根+細根)への ^{14}C の分配率は、すべての処理時期で25℃の方が15℃よりも高かったが、季節の進行に伴う低下傾向は保持されていた(Fig. 3)。この実験では10月23日以降に根圏温度処理を行った場合、挿し穂や根への分配がほとんど認められなかったため、Fig. 3では10月23日以降の結果を削除した。根圏温度を15℃と一定にした場合でも、新梢以外の部位(挿し穂+太根+細根)への分配率が季節が進むと低下したのは、植物

体の発育のステージによるものか、環境条件によるものかは明らかではない。

^{14}C の根(太根+細根)への分配率は、どの処理時期でも25℃区の方が高かった(Fig. 3)。また、15℃における太根への分配率は季節とともに低下したが、25℃における太根への分配率は季節に関わらず4.3%前後でほとんど変化しなかった。この結果は、8月以降における新梢から挿し穂や根への光合成産物の分配の減少(Fig. 2)を、根圏温度を高くすることによって軽減させ、根や幹の貯蔵養分を増加させる可能性を示唆するものと考えられる。

^{14}C の根(太根+細根)への分配率は(Fig. 3)、 $^{14}\text{CO}_2$ 処理後の時間とともに増加した。根圏温度による差を見ると、根(太根+細根)への分配率は処理後の経過時間に関わらず15℃よりも25℃区で高かった。15℃区について見ると、 $^{14}\text{CO}_2$ 施与後72時間における ^{14}C の根(太根+細根)への分配率は、根圏の温度処理時期が8月26日から9月9日までの区と9月18日から10月3日までの区では約4~5%であったが、10月5日から10月19日までの区では約1.4%と低くなった。これらの結果は、季節が進むにつれて転流速度が遅くなるが、10月までは根への転流を

続けていることを示している。

Fig. 3 の結果は、根への分配が低下した9月以降でも、根圏温度を25℃程度に保持することによって、幹や根への分配を増加させることができることを示している。本実験では果房が着生していない挿し木苗を用いているが、果房が着生している樹においては、果実収穫後に根圏温度を25℃前後に保持する方法が適用できる可能性がある。本研究で用いた品種 ‘Campbell Early’は、9月中旬までには収穫が終了する品種である。この品種では果実収穫後、落葉までの間、根圏温度を高く保持することが根への分配の増加に有効と考えられる。また、挿し木苗の育成においても、栄養成分の動向についての報告(5)と本実験の結果から、マルチなどの方法で、

9月以降根圏温度を高めることによって、樹体や根により多くの貯蔵養分を蓄積することができると期待される。

リンゴやモモでは樹体の根に蓄積された炭水化物が翌年の初期成長に使われるまで、デンプンとして蓄えられていることや、萌芽期前後の根温がデンプンの分解速度に及ぼす影響は小さいが、分解産物である糖類の呼吸による消耗は根温が高いほど大きいことが報告されている(18)。根に分配された光合成産物の翌年の初期発育への影響を検討するにあたって、今後は、根における蓄積形態であるデンプンの動向に及ぼす影響因子を解析する必要があると考えられる。

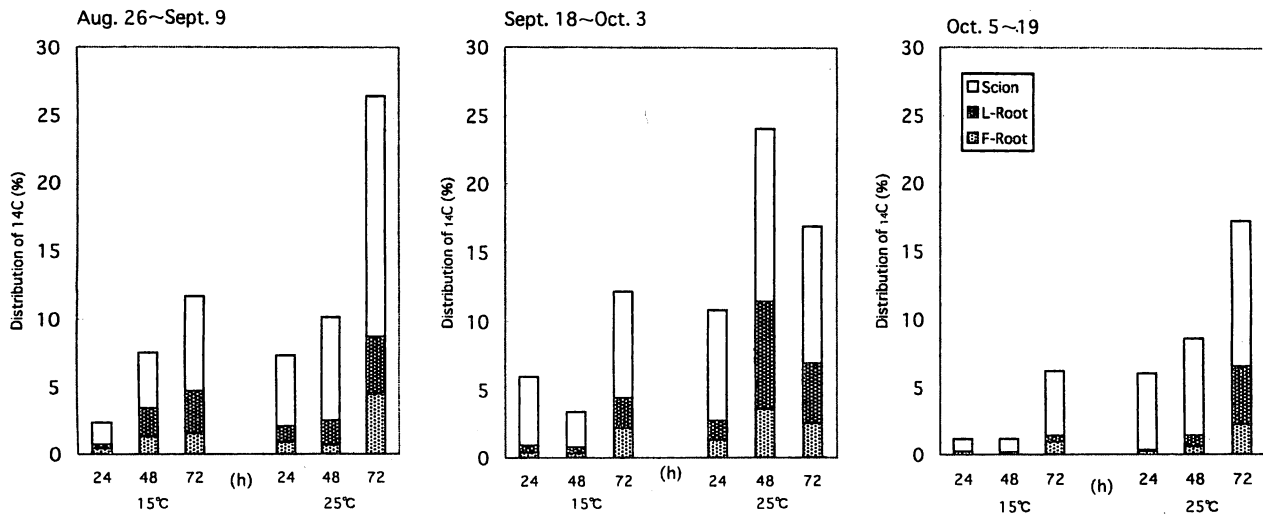


Fig. 3 Effect of root zone temperature on distribution of ¹⁴C in roots and scions from shoots after feeding of ¹⁴CO₂. L-Root: roots over 1 mm in diameter. F-Root: roots below 1 mm in diameter.

要 約

‘Campbell Early’の1年生挿し木苗を用いて、新梢で生産された光合成産物の地下部への転流について、7月初旬から10月下旬までの季節変化、及び8月から10月までの根圏温度の影響を、¹⁴Cを用いて検討した。新梢から根(太根+細根)への¹⁴Cの分配率は、7月には約9~6%と最も高く、季節が進むにつれて低下し、10月には0.7%以下となった。7月から10月にかけては気温、地温ともに低下する時期であることから、根圏温度の影響を見たところ、25℃区が、15℃区よりも、根(太根+細根)への分配率が高かった。15℃でも25℃でも季節の進行に伴う

根(太根+細根)への分配率の低下が認められたが、25℃区の太根ではほとんど低下は見られなかった。これらの結果から、秋に根圏温度を25℃前後まで高めることが、果実収穫後から落葉前までの間に養分の幹や根への転流を増加させる効果があると考えられる。根への光合成産物の分配の増加が、養分の蓄積量の増加に繋がることが期待される。

引 用 文 献

1. Abusrewil, G.S., F.E. Larsen, and R. Frilla, Jr. Pre-storage and poststorage starch levels in chemically and hand-defoliated ‘Delicious’ apple nursery

- stock. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 20-23 (1983)
2. Hansen, P. and J. Grauslund. ¹⁴C-studies on apple tree. VIII. The seasonal variation and nature of reserve. Physiol. Plant. 28: 24-32 (1973).
 3. Hunter, J.J. and J. H. Visser. Distribution of ¹⁴C-photosynthate in the shoot of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet sauvignon. I. The effect of leaf position and developmental stage of the vine. S. Afr. Enol. Vitic. 9: 3-9 (1988).
 4. Hunter, J.J. and J. H. Visser. Distribution of ¹⁴C-photosynthate in the shoot of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. II. The effect of partial defoliation. S. Afr. Enol. Vitic. 9: 10-15 (1988).
 5. 細井寅三・町田英夫・大石惇. さし木中におけるさし穂内栄養成分の動向(第4報). 園学雑. 48: 19-25 (1979).
 6. 古川良茂・山下尚浩. 三要素の秋期施用がブドウ・デラウェアの秋期における光合成およびその産物の移行, 分布におよぼす影響. 園学雑. 43: 1-6 (1974).
 7. Koch, K.E. Translocation of photosynthetic products from source leaves to aligned juice segments in citrus fruit. HortSci. 19: 260-261 (1984).
 8. 久保田尚浩・島村和夫. 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. 園学雑. 58: 303-309 (1989).
 9. Loescher, W. H., T. McCramant and J. D. Keller. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. HortSci. 25: 274-281 (1990).
 10. Motomura, Y. Distribution of ¹⁴C-assimilates from individual leaves on clusters in grape shoots. Amer. J. Enol. Vitic. 41: 306-312 (1990).
 11. Motomura, Y. ¹⁴C-assimilates partitioning in grape shoots. Effects of shoot pinching, girdling of shoot, and leaf-halving on assimilates partitioning from leaves into clusters. Amer. J. Enol. Vitic. 44: 1-7 (1993).
 12. 元村佳恵. ブドウの結果枝間の光合成産物の転流. J. ASEV. Jpn. 8: 75-81 (1997).
 13. 元村佳恵. ブドウ‘デラウェア’の果軸上の果柄の配列ならびに光合成産物の果粒への分配に及ぼす葉位の影響. J. ASEV. Jpn. 9: 12-20 (1998).
 14. 元村佳恵・白倉 豊. ブドウの結果枝の茎における葉から果房への光合成産物の転流経路. J. ASEV. Jpn. 10: 20-27 (1999).
 15. 岡本五郎. ブドウ樹が秋に同化した¹⁴C-物質の翌春における体内分布と移行. 園芸学研究集録. 9: 6-12 (1979).
 16. Ruter, J.M., and D. L. Ingram. ¹⁴Carbon-labeled photosynthate partitioning in *Ilex crenata* ‘Rotundifolia’ at supraoptimal root-zone temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 1008-1013 (1990).
 17. Wample, R. L. and A. Bary. Harvest date as a factor in carbohydrate storage and cold hardiness of Cabernet sauvignon grapevines. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 32-36 (1992).
 18. Young, E. Y. Motomura and G. R. Unrath. Influence of root temperature during dormancy on respiration, carbohydrates, and growth resumption in apple and peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 514-519 (1987).