

ニホンナシにおける芽の休眠特性の品種間差異並びに ‘二十世紀’のChill unitモデルの作成

田村文男・田辺賢二・板井章浩

緒 言

近年、芽の休眠打破に必要な低温が不足しがちな中緯度地域においてもニホンナシ栽培は広まりつつある。またわが国においても加温栽培が盛んに行われるようになってきた。しかし、ニホンナシの低温要求量に関する研究は‘幸水’（浅野・奥野, 1990; 杉浦, 1997）と‘二十世紀’（高馬, 1953; 田村ら, 1992）に関するものに限られている。従来低温要求量の評価は7.2℃以下の気温に遭遇した積算時間をもって評価されてきたが、この方法を用いた場合、同一品種であっても栽培年や栽培地によって休眠打破時期の低温積算時間が大きく異なるため休眠打破を予測するには向かないこと（Richardson, 1974）が示されている。その原因は実際には休眠打破に効果のある10℃程度の温度を無視している、あるいは一概に7.2℃以下の気温といっても休眠打破に対する効果は一樣ではないことにある。Richardson（1974）はこの点を改善し、一定の低温域に重みづけをしその係数を遭遇した時間に乗じ積算するChill unitモデルを提唱している。この方法は、従来までの7.2℃以下の積算時間に較べ高い精度で休眠打破を予測することができることが様々な樹種を用いた研究（Shaltout and Unrath, 1983; 浅野・奥野, 1990）で証明されている。浅野・奥野（1990）は‘幸水’のChill unitモデルをすでに示しているが、ナシ属植物においても休眠打破に必要な低温要求量は種（Westwood・Chestnut, 1964）あるいは品種（田村ら, 1995）によって大きく異なることから、このモデルを他の品種に直ちに当てはめ実際に栽培に用いることは危険である。

本研究ではまずニホンナシの主要品種の休眠特性を明らかにするとともに、低温の不足する地域におけるニホンナシの品種選択についても考察を加えた。さらにこれまで報告のない、‘二十世紀’のChill unitモデルを5年間におよぶ気象観測と萌芽率調査のデータを元に作成し、有用性を検討した。なお本研究を行うに当たり佐治アストロパークの方々には多大なご援助をいただいた。記して御礼申し上げます。

第1章 ニホンナシ品種における芽の休眠の様相

ニホンナシをはじめとする落葉果樹は樹種あるいは品種によって固有の低温要求量を持ち、それが満たされることによって芽の自発休眠が打破される (Westwood, 1978; Saure, 1985)。もし低温要求量が満たされない状態で生長期を迎える、あるいは加温栽培した場合には発芽がきびしく遅延したり生長途中の新梢や花器が枯死するなどの現象がみられる (Chandlerら, 1937)。従って低温遭遇量が不足する地域でのニホンナシ栽培をより有利に行うには低温要求量の低い品種を選択することが重要となる。しかしニホンナシ品種の休眠の様相を調査した事例は‘二十世紀’ (高馬, 1953), ‘幸水’ (浅野・奥野, 1990) など主要な品種に限られており、しかも直接多くの品種を比較した研究例はみられない。

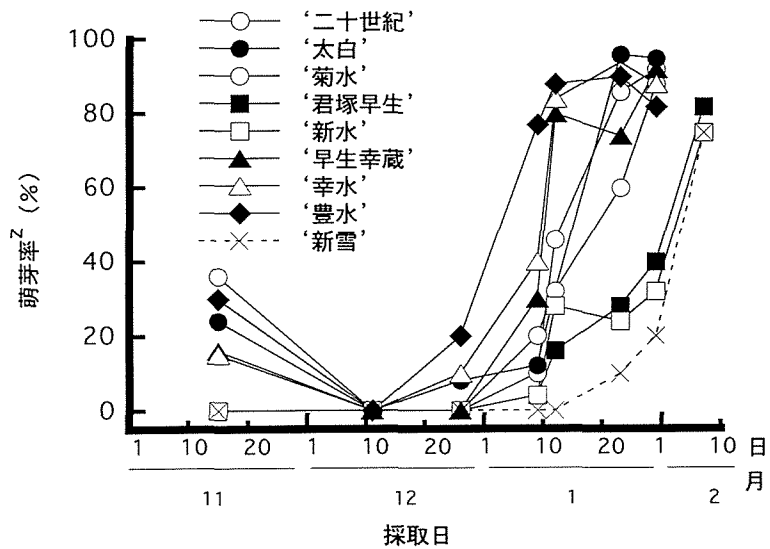
本節では、ニホンナシ品種の休眠の特徴を明らかにする目的で、冬季におけるそれらの切り枝を加温し芽の生長を比較した。

材料および方法

鳥取大学農学部にて植栽・保存されているニホンナシ品種 ‘二十世紀’, ‘太白’, ‘菊水’, ‘君塚早生’, ‘新水’, ‘早生幸蔵’, ‘幸水’, ‘豊水’ および ‘新雪’ を供試した。11月中旬から2月上旬にかけて葉芽の多く着生している発育枝を経時的に採取し、頂部3節を切りとった後、それ以下の葉芽の着生している部分を5節ずつに切り分けた。直ちに水挿しし、 $23^{\circ}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度75%、16時間日長、枝の直上の水平照度1050lxに設定した定温室に入れ腐敗防止のため3% 8-Hydroxy-Qinoline溶液を用いて水挿しした。調査中、発育枝基部が黒変したものについては、正常な部分まで切りもどした。葉芽の発育状態を7日おきに観察し、芽の生育程度を7段階に分けて記録した。一方、圃場に設置した百葉箱中に自記温度記録計を置き気温を測定し浅野・奥野 (1990) の方法に従って採取日の Chill unit (以下CU) を求めた。

結 果

加温21日後の萌芽率の変化を第1図に示した。‘新水’ と ‘新雪’ は11月中旬にすでに萌芽が認められなかったが、他の供試品種は11月中旬から萌芽率が低下し、いずれも12月上旬にはほぼ0%になった。その後 ‘豊水’ が最も早く萌芽率が上昇し、‘新水’, ‘君塚早生’ および ‘新雪’ は最も萌芽率の上昇が遅かった。‘豊水’ は1月7日 (1090CU) に、‘幸水’ および ‘早生幸蔵’ はやや遅れて1月12日 (1210CU) に80%程度の萌芽率に達した。一方、‘二十世紀’ と ‘太白’ は1月22日 (1420CU) に、‘菊水’ は1月27日 (1500CU) にそれぞれ80%程度の萌芽率に達した。‘新水’, ‘君塚早生’ および ‘新雪’ の萌芽率が80%程度となったのは最も遅く2月4日 (1610CU) であった。



第1図 ニホンナシ9品種の葉芽の萌芽率の季節的变化
 23°Cで加温し、21日後に調査した

第2章 ‘二十世紀’ および ‘豊水’ における芽の 休眠打破に有効な温度域

低温要求量を評価するため古くは7.2℃以下 (Chandlerら, 1937; 高馬, 1953) の気温の遭遇時間を積算する手法が採られてきた。しかし, 一概に低温といっても温度によって休眠打破に対する効果は異なり, 多くの樹種で5℃程度が最も有効であり, また20℃以上の気温は低温積算を消去する場合もある (Richardsonら, 1974; Westwood, 1978; Shaltout・Unrath, 1983; Saure, 1985)。これらの知見を基にRichardsonら (1974) はある温度域の休眠打破に対する効果を評価し, それぞれに1〜1の係数を与え, その温度域の遭遇時間に乗じて積算するChillunit (以下CU) モデルを提唱した。以来多くの樹種で同様のモデルが示され, ニホンナシに適用 (浅野・奥野, 1990) するよう改良された例もある。浅野・奥野 (1990) は ‘幸水’ のCUモデルをすでに示しているが, 前章で示されたようにニホンナシの低温要求は品種によって大きく異なる。さらに休眠打破に必要な温度域も種を通じて一定であるとは限らず, 我が国の主要品種の一つである ‘二十世紀’ のCUモデルを示した研究例は見あたらない。また自発休眠期間中温度係数が一定であるという前提で作成されたこれまでのCUモデルに否定的な意見もある (Saure, 1985)。従って品種毎に有効な温度域を調査し, その上で品種の低温要求量を評価してゆく必要がある。

本章では主要な品種の中で休眠打破時期が最も早いとみなされた ‘豊水’ とそれより明らかに遅かった ‘二十世紀’ の枝を様々な温度条件に一定時間置いた後加温し, 芽の生長を調査することで, それぞれの休眠打破に有効な低温域を明らかにしようとした。

材料および方法

鳥取県東伯郡赤碕町のほぼ平坦な圃場に植栽されている ‘二十世紀’ 並びに鳥取大学農学部で植栽されている ‘豊水’ を供試した。1991年11月8日から10日にかけて両品種の1年生枝を採取した。残っている葉を葉柄基部から切断した後, 0, 5, 10, 15, 20℃の恒温器に搬入し水挿しした。なお水挿し用の水には腐敗防止のため, 3% 8-Hydroxy-Quinolineを加えた。それらの枝を搬入後経時的に取り出し5節に切りそろえた後前章と同じ方法によって葉芽の萌芽率を調査した。

結 果

‘二十世紀’ の加温21日後の萌芽率を第1表に示した。800時間後までは, 各温度区とも萌芽率は30%以下であり, 各温度区間に差は認められなかった。20℃区ではそれ以降も萌芽率の上昇はみられなかったが, それ以下の温度区では萌芽率が次第に上昇した。10℃区および15℃はそれぞれ1200時間並びに1400時間後まで緩やかに萌芽率が上昇したが, 実験終了時の萌芽率は44%並びに30%と低い値であった。一方, 0℃区と5℃区では萌芽率は1200時間後までは同様に上昇したものの, 0℃区では1400時間以後萌芽率は70%前後であったのに対し, 5℃区では1200時間後から1400時間後にかけて急激に萌芽率が高まり90%に達した。

次に ‘豊水’ の加温21日後の萌芽率を2表に示した。萌芽率は全般的に ‘二十世紀’ よりやや高く, またより短い遭遇時間で高いレベルに達した。‘二十世紀’ では5℃区のみが1400時間以降有意に高い

萌芽率を示したのに対し，‘豊水’では調査期間中0℃，5℃および10℃区の間に明らかな差はみられず，いずれも1000時間以降には90%程度の高い萌芽率に達した。

第1表 ‘二十世紀’ 葉芽の休眠打破に及ぼす温度の影響

処理温度 (℃)	萌芽率 (%) ^z							
	遭遇時間 (hr)							
	0	200	400	600	800	1200	1400	1600
0		16.0a ^y	12.0a	14.0a	12.0a	34.0a	65.0b	70.0b
5	18.0	16.0a	12.0a	16.0a	14.0a	38.0a	90.0a	94.0a
10		10.0a	16.0a	10.0a	16.0a	28.0ab	46.0c	44.0c
15		16.0a	14.0a	14.0a	12.0a	26.0ab	32.0d	30.0d
20		12.0a	18.0a	18.0a	10.0a	18.0b	18.0e	16.0e

^z 23℃で加温し，21日後に調査

^y ダンカンの多重検定，5%レベルで異符号間に有意差有り

第2表 ‘豊水’ 葉芽の休眠打破に及ぼす温度の影響

処理温度 (℃)	萌芽率 (%) ^z						
	遭遇時間 (hr)						
	0	400	600	800	1000	1200	1400
0		24.0a ^y	32.0a	64.0a	92.0a	94.0a	98.0a
5	28.0	26.0a	30.0a	66.0a	94.0a	100.0a	96.0a
10		24.0a	28.0a	70.0a	86.0a	98.0ab	96.0a
15		26.0a	34.0a	44.0b	42.0b	56.0b	62.0b
20		30.0a	34.0a	28.0c	30.0c	38.0c	48.0c

^z 23℃で加温し，21日後に調査

^y ダンカンの多重検定，5%レベルで異符号間に有意差有り

第3章 ‘二十世紀’の休眠打破予測に有効なChill unitモデル

前章の実験の結果10℃以下の気温を一律に休眠打破に有効と評価している浅野・奥野（1990）のCUモデルは‘豊水’にはよく当てはまるが、‘二十世紀’には5℃程度の低温が最も有効であり明らかに休眠打破に有効な温度域が‘豊水’と異なることが認められた。そこで本章では前章で得られた‘二十世紀’の温度反応を基にしたCUモデルを作成し、5年間に渡り気温と萌芽率を調査した結果にあてはめて有用性を検証した。

材料および方法

鳥取県鳥取市湖山町鳥取大学農学部圃場（標高2 m，以後湖山圃場と表記）並びに鳥取県八頭郡佐治村津野の有本氏園（標高412m，以後佐治圃場と表記）に植栽されている‘二十世紀’成木を供試した。1991-92，1992-93，1993-94，1994-95および1995-96年の5シーズンには湖山圃場から、また1995-96年には佐治圃場からも発育枝をそれぞれ経時的に採取し5節に切りそろえた後、第1章の方法により萌芽率を調査した。休眠打破されたと推定した採取日は萌芽率がそれ以降有意に高まらなくなった日とした。一方湖山圃場並びに佐治圃場に隣接した佐治アストロパークに設置されている百葉箱中に自記温度記録計を設置し、気温を測定した。測定した気温は15分間ごとに平均し第3表のように設定したCUモデル（鳥取モデル）の係数を掛け、さらに24時間毎に集計した値を積算し採取日のCUを求めた。CUの積算開始は11月に最もマイナスのCUが算出された翌日から（Richardsonら，1974）とした。またRichardson（1974）および浅野・奥野（1990）のCUモデル（それぞれユタモデルおよび埼玉モデルと表記）も併せて用い本実験で設定した鳥取モデルとの比較を行った。

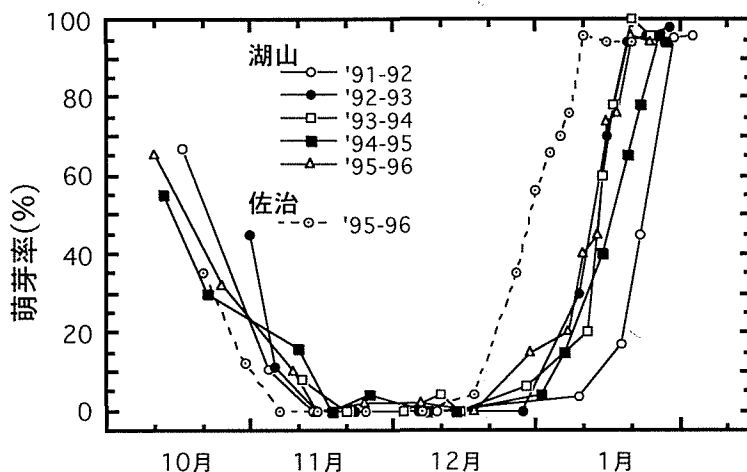
第3表 Chill unitの算出に用いた鳥取モデルの温度係数

時 期			
0~1200 Chill unit		1200 Chill unit~	
温度（℃）	温度係数	温度（℃）	温度係数
<8.0	1.0	<-4.0	0.0
8.1~10.0	0.8	-3.9~-2.0	0.6
10.1~12.0	0.6	-1.9~ 0	0.8
12.1~14.0	0.2	0.1~ 8.0	1.0
14.1~16.0	0	8.1~ 10.0	0.8
16.1~18.0	-0.4	10.1~ 12.0	0.6
18.1~20.0	-0.8	12.1~ 14.0	0.2
20.1<	-1.0	14.1~ 16.0	0
		16.1~ 18.0	-0.4
		18.1~ 20.0	-0.8
		20.1<	-1.0

結 果

湖山並びに佐治圃場における萌芽率の推移を第2図に示した。湖山圃場の萌芽率が低下し0%近くになったのは各シーズンとも11月中旬であったが、萌芽率の上昇は10日近い年次変動がみられた。また1995-96年における佐治圃場の萌芽率の低下と上昇はそれぞれ湖山圃場より10日程度早かった。

葉芽の自発休眠が打破されると判断された日並びにその時点のCUを第4表に示した。最も年次変動並びに観測地による変動が少なかったのは鳥取モデルでありそれぞれ最大22CU、8CUの差であった。鳥取モデルに次いで年次変動並びに観測地による変動が少なかったのは埼玉モデルであり、ユタモデルは前2者と比較して極めて大きな観測地による変動を示した。



第2図 湖山および佐治地区における‘二十世紀’の
葉芽の萌芽率²の季節的变化
²23℃で加温し、21日後に調査

第4表 各モデルによって算出した湖山および佐治地区における‘二十世紀’ 葉芽の休眠打破日のChill nuit

調査地区 (鳥取県)	調査年度	休眠打破日	休眠打破日のChill nuit		
			ユタモデル	埼玉モデル	鳥取モデル
鳥取市湖山町	1991-1992	1992年 1 月 27 日	1057	1407	1407
	1992-1993	1993年 1 月 17 日	1028	1408	1386
	1993-1994	1994年 1 月 18 日	1143	1464	1408
	1994-1995	1995年 1 月 24 日	1041	1446	1399
	1995-1996	1996年 1 月 18 日	1025	1433	1397
八頭郡佐治村	1995-1996	1996年 1 月 9 日	649	1493	1405
平 均			990	1442	1400
標準誤差			158	31	8

第4章 考 察

芽の休眠の深さは気温 $21^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{C}$ の条件下に14日および21日間おいた場合の萌芽率によって評価される場合が多く、また萌芽率が約80%以上に達した場合に休眠打破に達したとする研究例が多い (Richardsonら, 1974; Mielke・Dennis, 1978; Shaltout・Unrath, 1983)。そこで本研究でもこれらに準じて芽の休眠の深さを評価することとする。本研究ではニホンナシ品種の休眠の様相を明らかにするため第1章で主要な栽培品種と血縁関係の深い品種の萌芽率の季節的な変化を調査した。その結果、‘豊水’は1月上旬(1090CU)と最も自発休眠が早く破れ、これに次いで‘幸水’と‘早生幸蔵’は1月中旬(1210CU)、『二十世紀’と‘太白’は1月下旬(1420CU)、『菊水’も1月下旬(1500CU)に自発休眠が打破されたものと思われた。一方、『新水’、『君塚早生’および『新雪’は調査品種中最も萌芽率の上昇が遅く、休眠が打破されたのは2月上旬(1610CU)と推測された。従ってニホンナシの低温要求量は品種によって大きく異なるといえる。また調査品種の遺伝的背景に着目すると、親子関係にある‘早生幸蔵’と‘幸水’および‘君塚早生’と‘新水’といった品種同士はほぼ同時期に休眠が破れ、『二十世紀’並びに‘太白’と‘菊水’、『菊水’と‘幸水’あるいは‘新水’はそれぞれかなり休眠打破の時期が異なるといった興味深い結果が得られた。今後より多くの品種について調査を行いニホンナシの休眠特性の遺伝様式について調査を進める必要がある。

浅野・奥野(1990)はRichardsonら(1974)の報告をもとにして、ニホンナシ‘幸水’および‘豊水’のCUモデルを作成している。このCUモデルは 10°C 以下の低温であればほぼ芽の休眠打破に同程度の効果を持つことを示唆している。本実験でも‘豊水’の温度反応は浅野・奥野(1990)の結果とよく一致しており、 10°C 以下の温度区では、いずれも1000時間後には90%程度の萌芽率に達し休眠が打破されたと思われる。従って‘豊水’は休眠打破に有効な温度域が広く低温要求量が低いことから低温が不足しがちな地域での栽培に有利な品種と思われる。一方、『二十世紀’の場合最終的な萌芽率が有意に高くなった温度区は 5°C 区のみであり、この区でも休眠が打破されたと思われるのは1400時間後であった。さらに全般的に‘豊水’より萌芽率が低かったことから、『二十世紀’は‘豊水’と比較して休眠が深く、かつ休眠打破に有効な温度域の狭い品種であるといえる。従って‘二十世紀’の休眠打破の予測には前述の浅野・奥野(1990)のCUモデルは適さないものとみなされる。

次に‘二十世紀’の温度に対する反応を詳しくみると、 0°C 区における萌芽率は、1200時間後までは 5°C 区とほぼ同程度の値で推移したが、それ以降1600時間後までは萌芽率の上昇はわずかであった。従って、 0°C の温度は、『二十世紀’の深い自発休眠期から休眠覚醒期後半までの休眠のステージの移行に関しては 5°C とほぼ同等の効果を持つが、それ以降は効果が低下するものと思われる。本研究における 10°C 区の萌芽率は、800時間以降上昇したものの1600時間後においても44%であった。また 15°C 区においては 10°C より萌芽率の上昇が遅く、また萌芽率は低く推移した。これらの結果から‘二十世紀’に関しては、 10°C および 15°C の温度は葉芽の休眠打破に多少の効果を持ち、その中でも温度が低いほど効果は高いのではないと思われる。さらに、 20°C 区では処理時間に関係なく萌芽率はほぼ一定であったため、 20°C の温度は葉芽の休眠打破に全く効果を持たないと考えられる。以上の点から‘二十世紀’は休眠の最終段階には休眠打破に有効な温度域が狭くなり、この時期には 5°C 前後の

温度が低温要求を満たすために必要となるものとみなされる。

第3章では以上の点を考慮した‘二十世紀’に適応する新たなCUモデル（鳥取モデル）を作成しその有用性を検証した。この鳥取モデルの特徴は前述の実験結果に基づき温度係数を2組作成し、CUが1200に達するまでは8℃以下の温度を一律に高く評価し、それ以降の低温積算には0℃以下の温度の効果を低く評価して計算することである。鳥取モデルを海拔2mの湖山圃場での5年間の調査結果並びに単年度ではあるが湖山圃場より標高が約400m高い佐治圃場における調査結果に当てはめられたところ、過去に示されているモデルと比較して明らかに休眠打破の予測精度が高いことが認められた。一方、ユタモデルに第2章での連続した低温処理の結果を当てはめてみると‘二十世紀’の低温要求量は1400CUとなるが、圃場の観測値から算出された値は大きくこれを下回り、特に冷涼な気候の佐治圃場では極めて低い値となった。この原因としてユタモデルは5℃以下の温度係数を極めて低く評価しており、中でも1.4℃以下の温度は低温積算に無効としているが、前述のように‘二十世紀’には0℃の温度もかなり有効であることが挙げられる。埼玉モデルはユタモデルほどの測定地区による差はみられなかったが、やはり連続した低温処理の結果と圃場の観測値から算出された値にはずれが生じていた。この原因は10℃以下の温度全てに係数1を与えているからと思われる。一方、鳥取モデルを用いた1400CUという計算結果は連続した5℃の低温遭遇で示されている1400時間と一致しており、‘二十世紀’の休眠打破期の予測に有効であると判断された。

摘 要

1. ‘二十世紀’、‘太白’、‘菊水’、‘君塚早生’、‘新水’、‘早生幸蔵’、‘幸水’、‘豊水’および‘新雪’を供試し、11月上旬から2月上旬にかけて発育枝を採取し23℃条件下で水挿しし、葉芽の萌芽率を比較した。‘豊水’は最も早く萌芽率の上昇がみられ、1月上旬（1090CU）には80%程度に達した。これらに次いで‘幸水’および‘早生幸蔵’は1月中旬（1210CU）、‘二十世紀’と‘太白’（1420CU）並びに‘菊水’（1500CU）は1月下旬、‘新水’、‘君塚早生’および‘新雪’は2月上旬（1610CU）にそれぞれ80%程度の萌芽率に達した。

2. ‘二十世紀’および‘豊水’の休眠枝を0、5、10、15および20℃条件で水挿しし、200時間ごとに取り出し23℃条件で芽の生育程度を観察した。‘二十世紀’の萌芽率が最も高まったのは5℃区であり、1400時間後には90%に達した。他の区の1400時間後の萌芽率は0℃；65%、10℃；46%、15℃；32%および20℃；18%であった。‘豊水’の萌芽率は‘二十世紀’より高く推移し、また0℃、5℃および10℃区の間には明らかな差はみられず、いずれも1000時間以降には90%程度の萌芽率に達した。以上の点より‘二十世紀’の方が‘豊水’と比較して低温要求量が多く、休眠が深いこと、また休眠打破に有効な温度域が狭いことが明らかであった。

3. ‘二十世紀’の休眠打破を予測する新たなCUモデル（鳥取モデル）を作成し、鳥取県下の湖山（海拔2m）と佐治（海拔412m）圃場の気温と休眠の深さの変化に当てはまるかどうか検討した。このモデルはCUが1200に達するまでは8℃以下の温度を一律に高く評価し、それ以降の低温積算には0℃以下の温度の効果を低く評価して計算を行うことが特徴である。鳥取モデルは過去に示されているモデルと比較して明らかに精度が高いことが認められた。

引用文献

- 浅野聖子・奥野隆. 1990. ニホンナシ「幸水」「豊水」の自発休眠覚醒時期と低温要求量. 埼玉園試研報. 17 : 41-46.
- Chandler, W. H., D. S. Brown, M. H. Kimball, G. L. Philip, W. P. Tufts and G. P. Weldon. 1937. Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some other plants in California. Bull. 611. Calif. Agr. Expt. Sta.
- 高馬進. 1953. 落葉果樹の自発休眠に関する研究(1). 自発休眠の開始, 終了並びに自発休眠の深さについて. 信州大学農学部紀要 3 : 189-204.
- Mielke, E. A. and F. G. Dennis, Jr. 1975. Hormonal control of flower bud dormancy in sour cherry (*Prunus cerasus* L.). II. Levels of abscisic acid and its water complex. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100 : 287-290.
- Mielke, E. A. and F. G. Dennis, Jr. 1978. Hormonal control of flower bud dormancy in sour cherry (*Prunus cerasus* L.). III. Effects of leaves defoliation and temperature on levels of abscisic acid in flower primordia. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 : 446-449.
- Richardson, E. A., S. D. Seely and D. R. Walker. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redheaven' and 'Elberta' peach trees. HortScience 9 : 331-332.
- Saure, M. C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. Hort. Revi. 7 : 239-300.
- Shaltout, A. D. and C. R. Unrath, 1983. Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 180 : 957-964.
- Westwood, M. N. and N. E. Chestnut. 1964. Rest period chilling requirement of Bartlett pear as related to *Pyrus calleryana* and *P. communis* root stocks. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 81 : 82-87.
- Westwood, M. N. 1978. Temperate-Zone POMOLOGY. p. 199-303. W. H. Freeman and Co. New York.
- Westwood, M. N. and P. B. Lombard. 1983. Pear rootstocks : Present and future. Fr. Var. J. 37 : 24-28.