

# NAC 水和剤のリンゴ摘果効果に影響を及ぼす要因

農研機構果樹茶業研究部門  
果樹生産研究領域

岩波 宏

## はじめに

NAC (1-naphthyl N-methylcarbamate, 一般名 カーバリル) 水和剤は、1960年代からリンゴの摘果剤として利用されている (福田 1991)。他の樹種で摘果剤として登録のあるホルモン剤と比べると、NAC 水和剤の摘果効果は安定しており、さらに何より安価であることが長い間使い続けられている大きな理由である。ただ、摘果効果が安定していると言っても、その効果は処理方法や気象条件、リンゴ樹の状態に大きく影響を受ける。多くの要因の影響を受けるため、必ずしも毎年狙った効果が得られるわけではないが、過剰な落果さえ起らなければ、これまでは特に問題とはならなかった。しかし、最近では労力不足から、摘果剤でもっと落果させたいという要望が強くなっている。そこで、NAC 水和剤の摘果効果に影響を及ぼす要因を整理し、気象もしくはリンゴ樹の状態に応じた処理で落果程度を調節できるか検討した。

## 1. NAC 水和剤による摘果のメカニズム

Williams and Batjer (1964) が、落果を引き起こす機構を明らかにするため、NAC の植物体内での動態を調べている。NAC は、葉やがくなどから吸収されるが、果そう葉に処理するよりは果実に直接処理した方が落果する量は増える。吸収された NAC は、



図-1 生育の異なるリンゴ「ふじ」の果その内の幼果 (満開3週間後)

そのままの形で (代謝されず) 維管束に蓄積され、葉から果実への輸送も少ない。これらの結果から、彼らは、維管束に蓄積された NAC により果実への養水分の供給が妨げられ、落果が引き起こされると説明している。また、落果程度の違いは、NAC の吸収量の違いではなく、幼果の状態の違い (生長の旺盛さ、結実の強さ) で決まるとしている (図-1)。

## 2. 摘果効果に及ぼす NAC 水和剤の処理濃度・処理回数の影響

我が国でも、実際の使用を想定した処理方法が検討されてきた。処理濃度については、750 倍から 2,000 倍希釈の範囲で摘果効果に明確な差が認められなかったことから、殺虫剤としての効果も期待できる現在の登録濃度である 1,200 倍希釈に決定された (川村ら 1966)。処理濃度を変えても効果に影響がないと言うことは、逆に効果が安定していると言うこともできる。散布量が多いほど落果が促進される傾向にあるが、1 回の処理で散布量

を多くした場合と (800L/10a)、時期をずらして 2 回処理 (400L/10a を 2 回) した場合で、落果率に大きな違いは認められなかった (今井ら 1995)。これは、1 回の処理で果実に十分に吸収されれば、複数回の処理は必要ないことを意味している。

## 3. 処理のタイミングと効果発現の時期

満開後の日数を目安に処理日が検討され、満開後 1~4 週間の散布で効果が認められた (川村ら 1966)。効果のある処理期間が長いことも、効果が安定していると言われるゆえんである。一方、効果の発現する (落果する) 時期と処理日との関係は明確ではなかった。処理日が早いほど落果が早くなるわけではなかった。これまでの試験では、処理後の適当なタイミングで着果数を調査して落果率を算出することで摘果効果を比較してきた。しかし、実際の落果はグラグラと続くため、落果数の推移を調べるだけでは、処理による効果がいつ発現し、いつ終わるかの時期の特定は難しい。幼果の肥大を経時的に測定すると、落果する果実は、落果する数日~20 日前にまず肥大が停止している (図-2)。肥大停止した果実がいつ落果するかは、物理的な要因 (風や雨などによる果そのの振動) が大きく影響する。そこで、肥大停止した時期を効果の発現時期として、処理日と発現時期との関係を調べると、処理の早晚に関わらず、効果の発現時

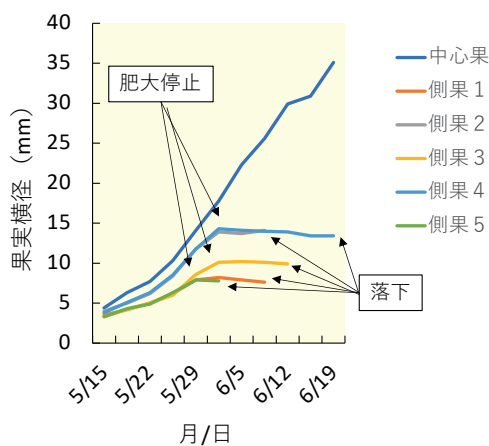


図-2 リンゴ「ふじ」におけるNAC水和剤処理により落下する果実の肥大停止時期と落下時期との関係（5/28 NAC水和剤処理，2018年）（岩波ら（2021）を一部改変）

期は（果実の肥大が停止する時期は）だいたい同じになる（図-3）。この時期は、通常の生理落果（ジューンドロップ）する果実の肥大停止時期と一致することから、NAC水和剤の摘果効果は、生理落果を助長する形で現れることがわかる。生理落果する果実の肥大停止時期を過ぎて処理をしても落果は増えないことから、処理が遅れないようにすることが重要である。また、処理の効果の確認は、生理落果が完全に終わった段階で行う必要がある。

#### 4. 効果に及ぼす気象要因の影響

NAC水和剤は気象の影響を大きく受ける。海外の20年間にわたる調査でも、NAC水和剤の摘果効果と相関があるのは処理時の幼果のサイズや満開後日数ではなく、処理後の気温であるとしている（Byers 2003）。そこで、落果率と相関のある気象条件を探索したところ、処理後3日間の平均最高気温と、満開後3~4週の平均日射量との間で高い相関が認められ、処理後の気温が高く、また、満開後3~4週の日射量が低いと落果率は高くなった（図-4）。海外の研究者が提

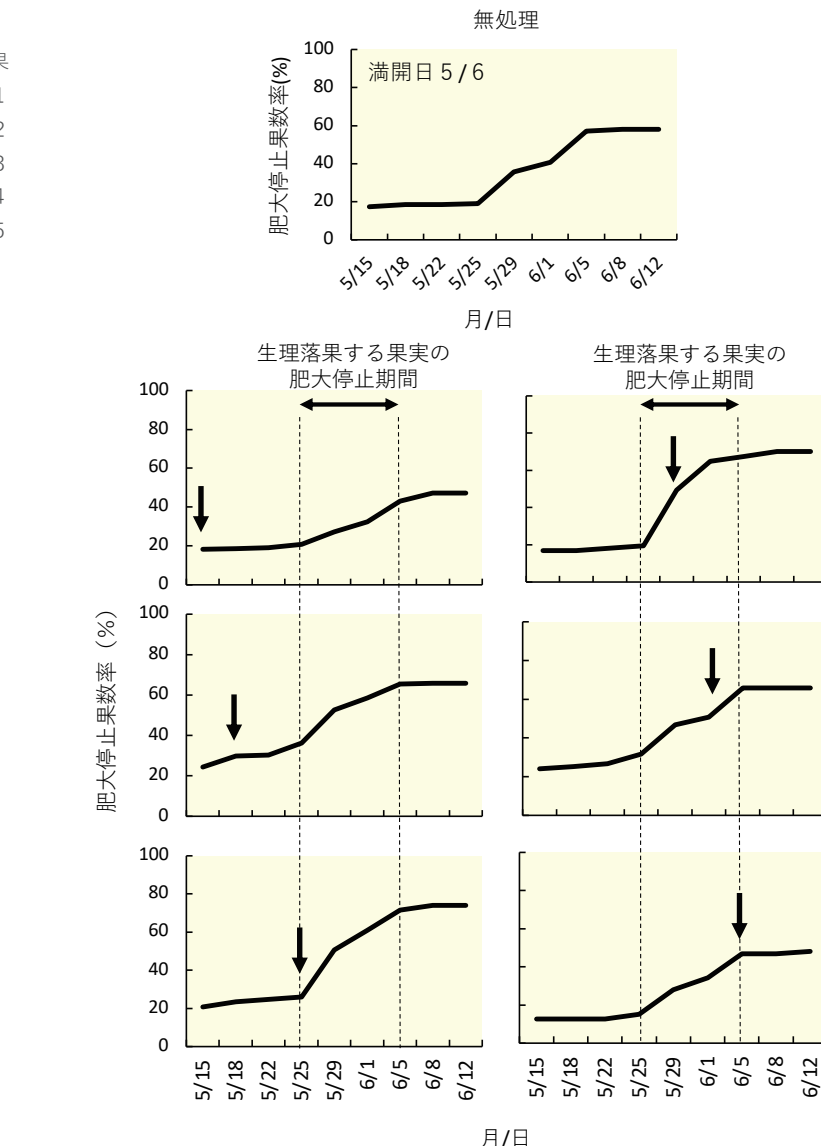


図-3 NAC水和剤の処理時期と果実の肥大停止時期との関係（「ふじ」，2018年）  
 図中の矢印はNAC水和剤の処理日  
 上：無処理樹の肥大停止果数率の推移  
 下：処理樹の肥大停止果数率の推移  
 （岩波ら（2021）を一部改変）

案している摘果剤の効果を予測するモデルでも、処理日から処理3日後までの気温の値を使用していることから（Robinson *et al.* 2017），処理後の一定期間の高温が摘果効果を上げるのには重要なのであろう。一方、満開後3~4週の日射量については、その期間に遮光すると生理落果が激しく起こると報告されていることから（近藤1990），その期間の日射量は生理落果程度を左右し、生理落果の起こりやすい気象条件では摘果剤の効果も大きく

なることを意味している。

#### 5. 効果に及ぼす樹体要因の影響

リンゴ樹の状態ではNAC水和剤に対する反応も異なる。経験的に樹勢の弱い木は落果しやすいことが知られている。樹勢の弱い木とは、新しょうの伸びが悪く、葉も少なく小さい、その割に花が多い、という特徴を持つ。実際に、花の多い木（花芽率の高い木）ほど、摘果剤による

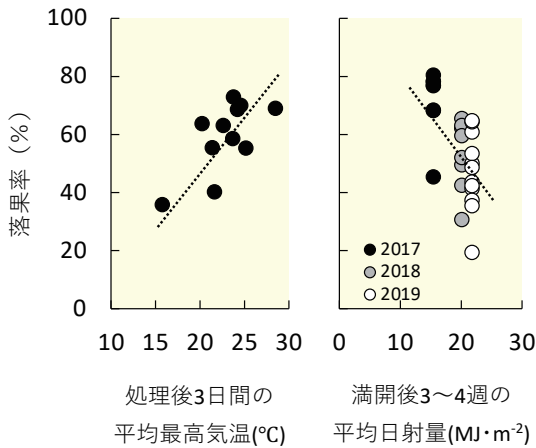


図-4 NAC水和剤の処理時期が異なる供試樹ごとの落果率 左：処理後3日間の平均最高気温との関係（「ふじ」, 2018年）右：満開後3～4週の平均日射量との関係（「ふじ」, 2017～2019年）（岩波ら（2021）を一部改変）

落果は多くなる。また、同程度の葉数の果そうを比較すると、着果数の多い果そうほど落果は多くなり、果そう葉（果実まわりの葉）の多い果そうでは落果は少なくなる（図-5）。

処理により、果そう内で生育の劣るものから肥大を停止し、落下にいたる（図-2）。樹全体でみると、処理時に大きい果実は残り、小さい果実が落下するわけではなく、あくまで果そう内の生育差の違いで、落ちる果実と落ちない果実が決まる。樹全体では、頂芽の果そうの果実は大きく、腋芽の果そうの果実は小さいが、腋芽の果そうについても、果そう内で生育のよい果実は落下せずに残る。ただ、頂芽についた果実より腋芽についた果実の方が落ちやすい傾向にある。これは、頂芽より腋芽の方で果そう葉数が少ないためであろう。

摘果効果は木の状態の影響を大きく受けるため、同じ日に処理をしても、状態の違いで落果程度も木によって大きく異なる。同じ木の中に処理する枝と処理をしない枝を設けた場合は、両者の落果率には高い相関が認められる（図-6）。これは、処理した枝の影響が処理をしなかった枝に及ぶというよりは、処理をしなくても落果率の高い木では、処理をすることでさらに落果が助長

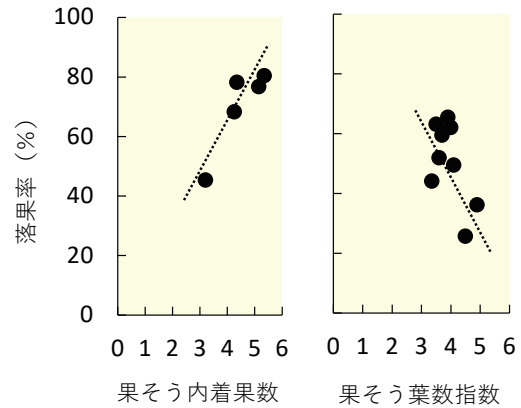


図-5 果そうの状態の異なる供試樹のNAC水和剤処理による落果率 左：果そう内着果数との関係（平均果そう葉数が14～18枚の供試樹について）（「ふじ」, 2017年）右：果そう葉数指数（葉数に応じて6段階で評価）との関係（平均果そう内着果数が3.5～4.5の供試樹について）（「ふじ」, 2018年）（岩波ら（2021）を一部改変）

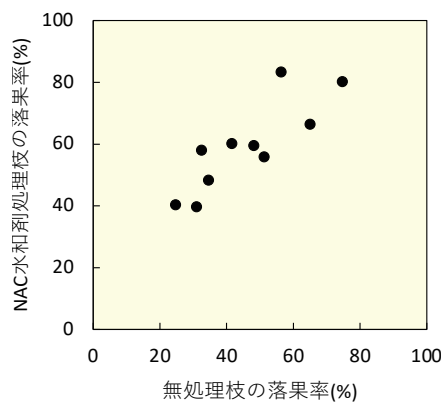


図-6 NAC水和剤を枝単位で処理したリンゴ樹における無処理枝と処理枝の落果率の関係 「さんさ」、「秋映」、「きたろう」、「シナノスイート」、「ふじ」、2016年）

されると解釈した方がよい。摘果効果を比較する試験で、1本の木の中に処理区をいくつか設ける場合（樹処理ではなく枝処理の場合）は、処理区の設定および結果の解釈に注意する必要がある。

## 6. 効果の品種間差

上記の多くの要因が落果程度に影響を及ぼすため、NAC水和剤の摘果効果を定量的に評価しようとするならば、これらの条件を揃えた上で試験をする必要がある。気象条件を揃えるには処理日を同じにすればよいが、樹体の条件を揃えるのは、それぞれの木の状態がかなりバラついているため難し

い。また、同一年次での比較であればよいが、年次をまたいだ比較となると、気象条件を揃えるために、ポット試験のような環境を調節することが必要となる。そこで、年次による気象のバラツキや個体のバラツキを補正して落果率を比較することを試みた。具体的には、気象および樹体の要因を変数として取り込んだ落果率を推定するモデルを作成し、NAC水和剤に対する反応の品種間差異を求めた。

NAC水和剤処理による落果率は、以下の式に示されている変数を用いたモデルで最も当てはまりがよくなった（岩波ら 2021）。

$$\begin{aligned} & \text{落果数} / \text{結実数} (\text{落果率}) (\text{ロジット変換後の値}) \\ & = \text{品種特性値} \\ & + 0.34 \cdot \text{摘果剤処理時果そう内平均着果数} \\ & - 0.24 \cdot \text{平均果そう葉数} \\ & \quad (\text{指数: } 1 \sim 6) \\ & + 0.03 \cdot \text{処理後3日間の平均最高気温} \\ & - 0.16 \cdot \text{満開3週間後から1週間の平均日射量} \end{aligned}$$

このモデルから推定した調査樹の落果率と実際の落果率とは、年次によらず、概ね同じ値となった（図-7上）。ただし、これまでに説明したNAC水



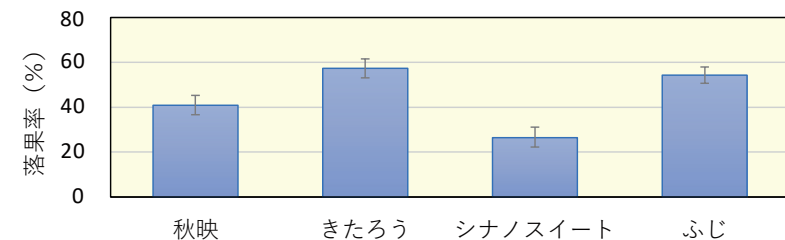
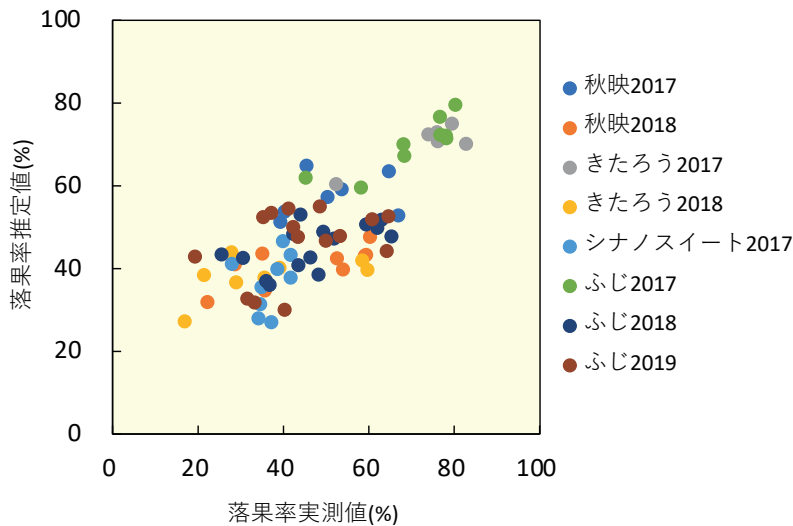


図-7 リンゴ4品種における、NAC水和剤の処理時期が異なる供試樹ごとの落果率の実測値とモデルから推定した値との関係(上)と、処理後3日間の平均最高気温が25℃、満開後3-4週の平均日射量が22MJ/m<sup>2</sup>、5個着果している葉数13~16枚の果そうの落果率の品種間差(モデルは本文中に記載(2017~2019年))(下)(岩波ら(2021)を一部改変)

和剤の摘果効果に影響を及ぼす要因のうち、花芽率については、データが揃っていなかったためモデルから除外した。図-7上図では、年次や調査樹によって落果率は大きく異なり、品種による効果の違いがはっきりしないが、このモデルで気象条件や樹体の状態を同じ値にすると、落果率の違いは品種特性値の違いで表される。すなわち、品種によるNAC水和剤に対する反応の違いである。今回使用した4品種で比較すると、「シナノスイート」のNAC水和剤による摘果効果は、「ふじ」の半分程度しかないことがわかった(図-7下)。

## おわりに

摘果効果は処理後の気象の影響を受けることから、毎年、天気予報を気にしながら処理日を決めることになる。

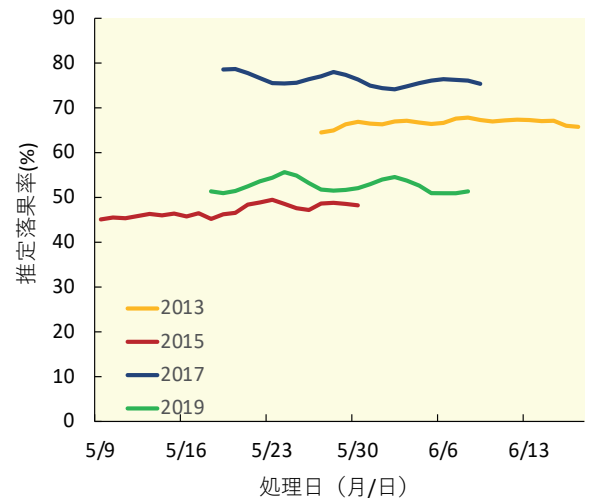


図-8 気象条件の異なる4か年の、モデルから推定した「ふじ」のNAC水和剤満開後1~4週処理における落果率の推移  
平均果そう葉数は13~16枚で、1果そう当たり平均5個着果している場合について推定(モデルは本文中に記載)  
(岩波ら(2021)を一部改変)

しかし、上記のモデルから、処理後の気温の影響は、実はそれほど大きくなり、満開後3~4週の日射量の影響の方が大きい。処理後3日間の平均最高気温は処理日によって異なるため、落果率は処理日によって異なる。しかし、同じ着果数と葉数の木に処理したと仮定すると、満開後1~4週の間いずれかの日に処理をしたとしても、処理日による落果率は大きくても5%程度しか変わらない(図-8)。満開後3~4週の日射量が年によって大きく異なるため、落果率は年次による違いの方が大きい。たとえば満開後3~4週の日射量を予測できたとしても、また、木によって着果数や樹勢も異なるため木ごとに処理を変えることができたとしても、NAC水和剤は濃度や処理時期、散布回数では摘果量をコントロールできない。NAC水和剤と混用し効果をも調節する補助剤の探索など、まだまだ

摘果剤の改良・開発の期待は大きい。

## 引用文献

- Byers, R. E. 2003. Flower and fruit thinning and vegetative : fruiting balance. p. 409-436. In: D. C. Ferree and I. J. Warrington (eds.). Apples botany, production and uses. CABI Publishing, England.
- 福田博之 1991. リンゴにおけるNAC剤の摘果効果と品種間差異. 果樹試報 19, 39-48.
- 今井勝重ら 1995. カーバリルによるリンゴの摘果. 青森りんご試報 28, 24-51.
- 岩波宏ら 2021. リンゴ「ふじ」におけるNAC水和剤の摘果効果の年次間差の推定. 園学研 20, 79-85.
- 川村英五郎ら 1966. リンゴの薬剤摘果に関する研究 第2報 リンゴの摘果剤としてのデナボン. 園試報C 4, 19-42
- 近藤悟 1990. リンゴの早期生理落果に関する研究. 秋田果試研報 21, 1-56.
- Robinson, T. L. et al. 2017. Precision crop load management: the practical implementation of physiological models. Acta Hort. 1177, 381-390.
- Williams, M. W., and L. P. Batjer 1964. Site and mode of action of 1-Naphthyl N-Methylcarbamate (Sevin) in thinning apples. Proc. Amer.Soc.Hort.Sci.85,1-10.