

ボルドー液による単為結果誘起を利用した ニホンナシ「幸水」の省力栽培法の福岡県における適応性

渡邊辰彦*・瀬戸山安由美・栗原 実¹⁾・松本和紀

ボルドー液による単為結果誘起を利用したニホンナシ「幸水」の省力栽培法について福岡県における適応性を検討した。その結果、本県の「幸水」においても開花前のボルドー処理による単為結果誘起が認められた。しかし、花粉遮断下では、その効果に年次間差やほ場間差が認められ、十分な着果量を確保できない場合もあった。一方、放任受粉下では、開花期が天候不順であった 2015 年において、ボルドー処理区の着果率が無処理区よりも有意に向上し、十分な着果量を確保できた。このことから、開花前のボルドー液処理は、人工受粉や虫媒受粉下における天候不順時の結実対策として有効であることが示された。単為結果果実は受粉によって得られた果実より小さいことから、GA ペーストと CPPU を用いた肥大促進法を検討した。GA ペーストと CPPU を併用すると果実肥大が促進される傾向にあったが、果実重に有意な影響が認められたのは GA 処理のみであった。加えて CPPU 処理した果実は成熟が遅れる傾向を示した。このことから、早期出荷によって有利販売を行っている本県において、単為結果果実の肥大を促進させるには、成熟遅延の可能性がある CPPU 処理よりも GA 単用処理が適していると判断した。

[キーワード：ニホンナシ，「幸水」，単為結果，肥大促進]

Adaptability to Fukuoka Prefecture of using Bordeaux Mixture to Induce Parthenocarpy in Cultivation of Japanese Pear ‘Kosui’. WATANABE Tatsuhiko, Ayumi SETOYAMA, Minoru KUWAHARA and Kazunori MATSUMOTO (Fukuoka Agriculture and forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 4:61-69 (2018)

This study examined the adaptability to Fukuoka Prefecture of using Bordeaux mixture to induce parthenocarpy as a labor-saving cultivation practice for the Japanese pear ‘Kosui’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai). Our results confirmed that Bordeaux mixture had a parthenocarpy-inducing effect. However, yearly and field variations in the effectiveness of parthenocarpy induction were observed. Furthermore, under conditions of protecting against cross-pollination, the effect of Bordeaux mixture before anthesis was insufficient. In 2015, we had low temperatures and rainfall during the flowering period, the fruit set percentage with Bordeaux mixture treatment was higher than that of control under open pollination. Therefore, application of Bordeaux mixture can also be useful as a supplement to artificial pollination when unseasonable weather such as low temperature or rainfall is expected during anthesis. Finally, the promotive effects of gibberellin paste (GA paste) and N-(N-(2-chloro-4-pyridyl)-N’-phenylurea (CPPU) on Bordeaux mixture-induced fruit growth were determined. Fruit growth tended to increase when CPPU solution was first sprayed 14 days after anthesis, and then GA paste was applied 35 days after anthesis. However, CPPU treatment showed a tendency to delay fruit maturation. Therefore, we concluded that CPPU treatment was not practical.

[Key words: Japanese pear, ‘Kosui’, parthenocarpy, fruit growth promotion]

緒 言

ニホンナシ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) の多くは自家不和合性であり、安定して果実を得るためには人工受粉が必須である。人工受粉にかかる作業時間は 10a 当たり 6 時間程度であるが、作業が短期間に集中する (阪本 2009) うえに、降雨日は受粉が行えず 15℃以下の低温では花粉の発芽が著しく不良になる (加藤 2007) など受粉の成否が天候に左右されるため、生産者の労働負担や心理的負担は非常に大きい。

近年、「幸水」の開花前にボルドー液を散布すると単為結果を誘起し着果率が向上することが明らかとなり、無受粉栽培技術の確立に向けた研究がなされている (Hayashida ら 2016)。加えて、無受粉下でボルドー液を散布した場合の着果率は 20~30%と、人工受粉の 80~90% (平塚ら 2002, 加藤 2007, 阪本 2009) に比べて低

いことから、摘果作業を大幅に削減できる技術としても期待されている (林田ら 2015, 平塚 2016)。

Hayashida ら (2016) は、ボルドー液の効果に年次変動を認め、開花期が降雨や低温の年には着果率が低下すると報告している。しかし、開花期の気象条件は地域によって異なるため、本県の気象がボルドー液の効果にどの程度影響するのかわかり不明である。そのため、本技術を普及させるには、本県における気象条件の下でボルドー液による単為結果誘起効果を確認する必要がある。一方で Hayashida ら (2016) は、降雨年は無処理区 (無受粉) の着果率も低下し、同年次の無処理区とボルドー処理区を比較するとボルドー処理区の着果率が高いことを報告している。近年、温暖化の影響でニホンナシの開花期が早まり (杉浦ら 2007)、低温に遭遇する危険性が高くなっている。また、降雨が重なることもあり、人工受粉を実施しても着果量が不足するなどの影響がみられることがある。

*連絡責任者 (果樹部：t-0410@farc.pref.fukuoka.jp)

受付 2017 年 8 月 1 日；受理 2017 年 11 月 17 日

1) 現 福岡県農林水産部農林水産政策課

そのような年に、あらかじめボルドー液を散布することで着果不足を回避できるならば、天候不順な年の有効な結実対策になる可能性がある (Hayashida ら 2016)。

ボルドー液を利用した省力栽培法を確立するうえで、解決すべき課題の一つに、ボルドー液の単為結果誘起によって得られた無核果実が他家受粉による有核果実に比べて小さい (Hayashida ら 2013, 林田ら 2015) ことがあげられる。Hayashida ら (2016) は、ホルクロルフェニユロン (CPPU) やジベレリンペースト (GA ペースト) を用いた肥大促進について検討し、CPPU と GA ペーストの併用処理が最も肥大を促進したと報告している。しかし、CPPU 処理は成熟を遅延させるとの報告もある (Zhang ら 2008)。Hayashida ら (2016) は、CPPU 処理果の熟期は GA ペースト無処理の慣行果実と同等であると報告しているが、本県では GA ペースト処理によって成熟と肥大を促進させ早期出荷するのが一般的であるため、CPPU 処理果は本県の慣行栽培よりも成熟が遅延する可能性がある。一般に「幸水」の市場価格は出荷期が早いほど高く、成熟が遅延すると収益の減少につながることから、本県における CPPU 処理については適応性を検証する必要がある。

そこで本研究では、4 年間の様々な気象条件下においてボルドー液を処理し、本県における単為結果誘起効果やその年次変動を調査するとともに天候不順年の有効性について検討した。また、現地の経済栽培園において実証試験を実施し、併せて、GA ペーストと CPPU を用いた肥大促進法の実用性を検討した。

材料および方法

使用したボルドー液と場内試験における試験樹

ボルドー液にはニホンナシの黒星病に適用のある IC ボルドー48Q (井上石灰工業株式会社) を用いた。IC ボルドー48Q (以下ボルドー液) の登録上の希釈倍率は 30 倍、使用時期は収穫後から開花前であるため (2017 年 8 月末時点)、いずれの試験も希釈倍率を 30 倍とし、場内試験は電動噴霧器、現地試験はスピードスプレーヤーを使用して満開前に散布した。

場内試験における試験樹には、福岡県農林業総合試験

場果樹部の露地ほ場に植栽されている 2 本主枝整枝の「幸水」(2013 年時に 7 年生) を 6 樹供試した。ほ場は約 6 a の「幸水」単植園であるが、隣接園は、自家不和合性に関する S 遺伝子型が「幸水」と異なる品種(「豊水」, 「凜夏」, 「甘太」等) が栽植された混植園であった。

1 ボルドー液による着果誘起効果の年次間差 (場内試験)

2013~2016 年の 4 年間で、ボルドー液による単為結果誘起効果を調査した。試験区は花粉遮断下におけるボルドー処理区とボルドー無処理区、放任受粉下におけるボルドー処理区とボルドー無処理区とした。

2013~2015 年は、各樹一方の主枝を花粉遮断、もう一方の主枝を放任受粉とした。そのうえで、3 樹にボルドー液を処理し、残り 3 樹をボルドー液無処理樹とした (各区 3 反復)。2016 年は各樹のそれぞれの主枝の半分を花粉遮断、もう半分を放任受粉とし、6 樹とも一方の主枝にボルドー液を処理し、もう一方の主枝をボルドー液無処理とした (各区 6 反復)。

ボルドー液の散布適期は開花 8 日前から開花当日 (平塚 2016) であることから、本研究のボルドー処理日は各年、満開 4~8 日前頃とし、花そうの発育程度を目安に処理日を決定した。すなわち、樹の大半の花蕾の花弁の色がピンクから白に変化する頃にボルドー液を散布した (第 1 図)。また、花粉遮断区は開花直前にポリエステル製のキッチン用ネットで花そうを覆い、訪花昆虫による受粉を遮断した (第 2 図)。なお、いずれの試験年も供試樹は開花前に摘蕾を実施した。

開花期に各区 1 樹ごとに長果枝と短果枝からそれぞれ 10~20 花そうを選定して花そう毎の花数を計測し、満開 30 日後に果そう毎の着果数を調査して、1 樹ごとの着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数を算出した。すなわち、着果率は各区 1 樹の総着果数を開花期の総花数で除して算出した。着果果そう率は各区 1 樹当たりの着果果そう数を総果そう数で除して算出した。着果果そう当たりの着果数は各区 1 樹の総着果数を 1 樹当たりの着果果そう数で除して算出した。これらのデータ (2013~2015 年は各区 3 反復、2016 年は各区 6 反復) を用いて花粉遮断下と放任受粉下ごとに、年次とボルドー処理を



第 1 図 ボルドー処理適期の花そうの発育程度



第2図 ポリエステル製のキッチン用ネットで花粉遮断した花そう

要因とした二元配置の分散分析を行った。また、放任受粉下のデータについては、各年次の処理区間について 5%水準で t 検定を実施した。なお、以上の統計解析における着果率と着果果そう率のデータは逆正弦変換後に解析に供した。

気象要因と着果率の関係を調査するため、アメダス大宰府のデータを用いてボルドー液処理日から開花期にかけての気温と降水量を調査した。

2 ボルドー液によって着果誘起された果実の品質(場内試験)

試験 1 の試験区のうち、花粉遮断+ボルドー処理区、放任受粉+ボルドー処理区、放任受粉+ボルドー無処理区の果実について、2013~2016年の4カ年間、果実品質を調査した。花粉遮断下のボルドー無処理区については、十分な果実が得られなかったため品質調査から除外した。なお、2013年はすべての処理区の果実に対して満開32日後にGAペースト(協和発酵バイオ株式会社)処理を行なったが、2014~2016年の試験についてはGAペースト処理を行わなかった。

成熟期に、ていあ部の地色がニホンナシ地色用カラーチャート値で3程度に達した果実から収穫し、各区1樹につき5果を供試して、果実重、地色、果肉硬度、糖度、pHを調査した。各データは、各区1樹ごとに5果の平均値を算出して統計解析に供した。また、各供試果実の完全種子数を調査し、完全種子を有していない果実を単為結果果実として各区1樹ごとの単為結果率(品質調査果実の単為結果率)を算出し統計解析に供した。あわせて、各区の全収穫果(50~180果)についても完全種子数を調査し、1樹ごとの単為結果率(全収穫果の単為結果率)を算出して統計解析に供した。統計解析は、2013年から2015年は3反復、2016年は6反復のデータを用いて、年次と処理区を要因とした二元配置の分散分析を行った。分散分析で処理区に有意差が認められた項目については、年次別に5%水準でTukeyの多重比較を実施した。なお、単為結果率のデータは逆正弦変換後に統計検定に供した。

3 現地実証試験

(1) 現地におけるボルドー液処理が着果と果実品質に及ぼす影響 2016年に八女市と朝倉市の露地栽培「幸水」を用いて現地実証試験を実施した。八女市(A地区)

に15aのボルドー処理園(A-1園,13年生)と20aの無処理園(A-2園,10年生)を設け、朝倉市(B地区)に10aずつのボルドー処理園(B-1園,35年生)と無処理園(B-2園,35年生)を設けた。いずれの園も開花前に摘蕾を実施した。ボルドー液はA-1園、B-1園ともに4月5日に処理した(A-1園は満開3日前、B-1園は満開5日前)。4園とも園内から3樹を選定して調査樹とし、1樹内に人工受粉区、放任受粉区、花粉遮断区を設けた。調査規模は各区1樹につき4側枝(計30~40花そう)とした。花粉遮断区は開花前に、4側枝の全花そうをポリエステル製のキッチン用ネットで被覆した。人工受粉区は4月8日(A地区)と4月9日(B地区)に「新興」の花粉を用いて人工受粉した。開花期に各区の全果そうの花数を調査し、満開20日後に着果果実数を調査して場内試験と同様に各区1樹ごとの着果率を算出し、逆正弦変換後に地区とボルドー処理を要因とした二元配置の分散分析を行った(各区3反復)。

着果調査後は、仕上げ摘果を行って満開後30~40日にGAペーストを処理した。収穫はA地区が8月4日、B地区が8月3日に実施した。各区1樹につき10果を成熟度に関係なく無作為に収穫し、果実重、地色、果肉硬度、糖度、pH、ヨード反応を調査した。ヨード反応は佐藤ら(1989)の調査方法に従った。すなわち、ヨード・ヨードカリ液を果実断面に塗布し、15分後の染色具合から1;10%以下染色、2;30%程度染色、3;50%程度染色、4;80%程度染色、5;完全染色で評価し、デンプン消失具合の目安とした。各データは、各区1樹ごとに平均値を算出して統計解析に供した(各区3反復)。また、調査果の完全種子数を調査し、各区1樹ごとの単為結果率を算出して逆正弦変換後に統計解析に供した(各区3反復)。統計解析は、地区別にボルドー処理と受粉方法を要因とした二元配置の分散分析を行い、受粉方法に有意差が認められた項目のみボルドー処理区別に5%水準でTukeyの多重比較を実施した。

以上の実証試験の園地条件であるが、A-1、A-2園はいずれも「幸水」単植で隣接園が「豊水」等の異品種園、B-1、B-2園は「幸水」と「豊水」の混植園であった。また、A-1園とA-2園、B-1園とB-2園はそれぞれ同一園主であり、園は各地区の同一地域に位置していた。栽培管理は各園主の慣行に従い、地区内で同一の着果管理を実施した。

(2) 果実肥大促進処理 ボルドー液によって得られる無核果実は他家受粉による有核果実に比べて小さい(Hayashidaら2013,林田ら2015)ことから、現地試験において、GAペーストとCPPUを用いた肥大促進処理を検討した。GAペーストとCPPUはニホンナシに登録がある協和発酵バイオ株式会社のジベレリン協和ペーストとフルメット液剤を使用した。

試験は2016年に筑後市(C地区)で実施した。試験園は面積10aの「幸水」単植園で隣接園も「幸水」のみ、異品種園とは150mほど離れていた。開花前に摘蕾を実施した後、4月4日(満開4日前)に園内全樹にボルドー液を散布して放任受粉とし、1区1樹3反復でCPPU+GA併用区、CPPU単用区、GA単用区、無処理区の4区を

設けた。まず、満開 14 日後に園内から 12 樹を供試して粗摘果を実施し、そのうち 6 樹の全果実に CPPU を 15ppm の濃度で散布した。その後、満開 35 日後に 12 樹の仕上げ摘果を実施し、CPPU 処理樹と無処理樹のそれぞれ 6 樹の中から 3 樹ずつを供試して全着果果実の果梗部に GA ペーストを塗布した。8 月 4 日に各区 1 樹につき 10 果を成熟度に関係なく無作為に収穫し、果実重、地色、果肉硬度、糖度、pH、ヨード反応を調査した。各データは各区 1 樹ごとに平均値を算出して統計解析に供した (各区 3 反復)。また、調査果の完全種子数を調査し、各区 1 樹ごとの単為結果率を算出して逆正弦変換後に統計解析に供した (各区 3 反復)。統計解析は CPPU 処理と GA 処理を要因とした二元配置の分散分析を行った。

結果

1 ボルドー液による着果誘起効果の年次間差 (場内試験)

花蕾の発育状況から、満開 4~8 日前に相当すると思われる時期を予測してボルドー液を散布したが、2013 年の処理日は満開 10 日前となった。一方、2014 年から 2016 年については、満開 4~8 日前の範囲内でボルドー液を散布できた。

花粉遮断下における着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数を第 1 表に示した。着果率と着果果そう率は、年次による着果の多少はあるものの、ボルドー処理による有意な効果が認められた。着果果そう当たり着果数には年次とボルドー処理の影響は認められなかった。

第 1 表 花粉遮断下におけるボルドー液処理が着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数に及ぼす影響

| 年次 | 処理区 | 着果率 ²⁾ (%) | 着果 果そう率 ²⁾ (%) | 着果果そう 当たり着果数 (果) |
|--------------------|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 2013 | ボルドー処理 | 8.7 | 35.0 | 1.9 |
| | ボルドー無処理 | 2.6 | 30.6 | 1.0 |
| 2014 | ボルドー処理 | 16.1 | 64.2 | 1.9 |
| | ボルドー無処理 | 10.2 | 38.9 | 2.0 |
| 2015 | ボルドー処理 | 5.0 | 28.3 | 1.3 |
| | ボルドー無処理 | 1.8 | 14.1 | 1.1 |
| 2016 | ボルドー処理 | 13.8 | 60.7 | 1.8 |
| | ボルドー無処理 | 5.6 | 32.0 | 1.7 |
| 分散分析 ¹⁾ | 年次 | ** | * | n. s. |
| | ボルドー処理 | ** | * | n. s. |
| | 年次×ボルドー処理 | n. s. | n. s. | n. s. |

1) 分散分析により*は 5%、**は 1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし (2013~2015 年: n=3, 2016 年: n=6)

2) 逆正弦変換後に統計検定に供した

第 2 表 放任受粉下におけるボルドー液処理が着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数に及ぼす影響

| 年次 | 処理区 | 着果率 ³⁾ (%) | 着果 果そう率 ³⁾ (%) | 着果果そう 当たり着果数 (果) |
|--------------------|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 2013 | ボルドー処理 | 53.5 | 100 | 4.4 |
| | ボルドー無処理 | 43.6 | 98.3 | 3.3 |
| 2014 | ボルドー処理 | 49.3 | 97.9 | 3.6 |
| | ボルドー無処理 | 53.8 | 100 | 4.2 |
| 2015 | ボルドー処理 | 30.6 | 86.6 | 3.0 |
| | ボルドー無処理 | 16.1 | 66.4 | 2.0 |
| 2016 | ボルドー処理 | 28.4 | 91.3 | 2.5 |
| | ボルドー無処理 | 32.5 | 98.1 | 2.7 |
| 分散分析 ¹⁾ | 年次 | *** | *** | *** |
| | ボルドー処理 | n. s. | n. s. | n. s. |
| | 年次×ボルドー処理 | ** | n. s. | ** |

1) 分散分析により**は 1%、***は 0.1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし (2013~2015 年: n=3, 2016 年: n=6)

2) t 検定により各年次のボルドー処理区間に*は 5%、**は 1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし

3) 逆正弦変換後に統計検定に供した

第3表 ボルドー処理日から満開3日後にかけての毎日の降水量と最高気温および最低気温¹⁾

| 年次 | | 10日 前 | 9日 前 | 8日 前 | 7日 前 | 6日 前 | 5日 前 | 4日 前 | 3日 前 | 2日 前 | 1日 前 | 満開 日 | 1日 後 | 2日 後 | 3日 後 | 開花期の 気象 ³⁾ |
|------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|
| 2013 | 月/日 | 3/26 | 3/27 | 3/28 | 3/29 | 3/30 | 3/31 | 4/1 | 4/2 | 4/3 | 4/4 | 4/5 | 4/6 | 4/7 | 4/8 | 4/3-4/7 |
| | 降水量(mm) | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.5 | 1.5 | 0 | 0 | 31 | 0 | 0 | 2 (32.5) |
| | 最高気温(°C) | 14.6 | 15.4 | 20.1 | 15.8 | 17.9 | 16.9 | 22.2 | 15.4 | 16.5 | 17.7 | 23.4 | 18.6 | 10.6 | 17.6 | 17.4 |
| | 最低気温(°C) | 3.0 | 8.6 | 10.0 | 9.2 | 5.9 | 7.7 | 4.9 | 10.1 | 8.3 | 8.1 | 8.3 | 8.9 | 6.6 | 5.2 | 8.0 |
| 2014 | 月/日 | 3/29 | 3/30 | 3/31 | 4/1 | 4/2 | 4/3 | 4/4 | 4/5 | 4/6 | 4/7 | 4/8 | 4/9 | 4/10 | 4/11 | 4/6-4/10 |
| | 降水量(mm) | 27.5 | 12.5 | 0 | 0 | 0 | 10 | 13 | 7.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 最高気温(°C) | 17.3 | 17.5 | 19.0 | 21.8 | 22.4 | 21.2 | 12.5 | 9.7 | 12.3 | 17.2 | 20.5 | 22.5 | 20.4 | 23.2 | 18.6 |
| | 最低気温(°C) | 14.0 | 11.8 | 6.7 | 7.5 | 9.0 | 10.0 | 4.6 | 3.8 | 4.2 | 2.8 | 6.4 | 5.7 | 7.9 | 8.7 | 5.4 |
| 2015 | 月/日 | 3/29 | 3/30 | 3/31 | 4/1 | 4/2 | 4/3 | 4/4 | 4/5 | 4/6 | 4/7 | 4/8 | 4/9 | 4/10 | 4/11 | 4/6-4/10 |
| | 降水量(mm) | 0 | 0 | 0 | 4.5 | 0 | 86.5 | 0.5 | 12.5 | 7 | 0.5 | 0.5 | 3.5 | 46.5 | 0 | 5 (58.0) |
| | 最高気温(°C) | 20.6 | 24.1 | 20.1 | 19.9 | 25.9 | 22.1 | 18.4 | 20.9 | 18.1 | 13.7 | 16.7 | 17.4 | 13.5 | 19.7 | 15.9 |
| | 最低気温(°C) | 10.7 | 8.7 | 10.8 | 12.9 | 11.4 | 15.0 | 13.8 | 15.0 | 11.7 | 9.0 | 6.7 | 5.3 | 10.8 | 9.6 | 8.7 |
| 2016 | 月/日 | 3/30 | 3/31 | 4/1 | 4/2 | 4/3 | 4/4 ²⁾ | 4/5 | 4/6 | 4/7 | 4/8 | 4/9 | 4/10 | 4/11 | 4/12 | 4/7-4/11 |
| | 降水量(mm) | 0 | 15 | 2.5 | 0.5 | 5 | 22.5 | 0 | 3.5 | 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 (55.0) |
| | 最高気温(°C) | 19.5 | 18.1 | 16.6 | 24.4 | 23.9 | 16.3 | 19.1 | 22.8 | 23.0 | 21.1 | 26.3 | 22.2 | 18.2 | 24.1 | 22.2 |
| | 最低気温(°C) | 12.3 | 11.7 | 12.8 | 13.4 | 14.5 | 13.3 | 10.1 | 9.0 | 14.2 | 12.0 | 11.9 | 12.0 | 8.7 | 7.4 | 11.8 |

1) 網掛けは各年次のボルドー処理日と満開日を表す

2) 2016年のボルドー処理日は朝方まで降雨があり、ボルドー散布は降雨後に樹体が乾いたのを確認して実施した

3) 開花期の気象は満開2日前から満開2日後(5日間)の降雨日数(総雨量)、最高気温の平均、最低気温の平均

第4表 開花前ボルドー液処理が果実品質と単為結果率に及ぼす影響(場内試験)

| 年次 | 処理区 | 果実重 (g) | 地色 (C.C.) | 硬度 (lbs) | 糖度 (°Brix) | pH | 品質調査果実の 単為結果率 ³⁾ (%) | 全収穫果の 単為結果率 ³⁾ (%) |
|------------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|---------------|-------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 2013 | 花粉遮断+ボルドー処理 | 293 b ²⁾ | 3.4 | 5.7 a | 13.0 | 5.40 | 100 a | 94.4 a |
| | 放任受粉+ボルドー処理 | 397 a | 2.9 | 5.5 a | 13.3 | 5.34 | 0 b | 0 b |
| | 放任受粉+ボルドー無処理 | 415 a | 2.7 | 5.2 a | 13.4 | 5.41 | 0 b | 6.7 b |
| 2014 | 花粉遮断+ボルドー処理 | 288 b | 3.0 | 5.4 a | 11.7 | 5.24 | 100 a | 93.3 a |
| | 放任受粉+ボルドー処理 | 387 a | 3.1 | 4.8 a | 12.2 | 5.10 | 0 b | 0 b |
| | 放任受粉+ボルドー無処理 | 346 a | 2.9 | 5.1 a | 12.2 | 5.09 | 0 b | 0 b |
| 2015 | 花粉遮断+ボルドー処理 | 317 b | 2.9 | 5.1 a | 12.8 | 5.35 | 100 a | 95.5 a |
| | 放任受粉+ボルドー処理 | 368 a | 3.1 | 5.3 a | 12.8 | 5.31 | 13.3 b | 14.6 b |
| | 放任受粉+ボルドー無処理 | 338 b | 3.1 | 5.0 a | 12.7 | 5.31 | 0 b | 7.9 b |
| 2016 | 花粉遮断+ボルドー処理 | 251 b | 2.8 | 5.3 a | 13.6 | 5.38 | 100 a | 93.7 a |
| | 放任受粉+ボルドー処理 | 313 a | 2.7 | 4.9 b | 13.6 | 5.40 | 6.7 b | 13.0 b |
| | 放任受粉+ボルドー無処理 | 335 a | 2.7 | 5.0 ab | 13.8 | 5.38 | 3.3 b | 19.2 b |
| 分散 分析 ¹⁾ | 年次 | *** | n. s. | * | *** | *** | n. s. | ** |
| | 処理 | *** | n. s. | * | n. s. | n. s. | *** | *** |
| | 年次×処理 | ** | n. s. | n. s. | n. s. | * | n. s. | * |

1) 分散分析により*は5%、**は1%、***は0.1%水準で有意差あり、n. s.は有意差なし(2013~2015年:n=3, 2016年:n=6)

2) 分散分析で処理に有意差が認められたもののみ、同年次の処理区間でTukeyの多重比較を行った。異文字間に5%水準で有意差あり

3) 逆正弦変換後に統計検定に供した

放任受粉下における着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数を第2表に示した。分散分析の結果、着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数に有意な年次間差が認められ、ボルドー無処理区の着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数は2015年が最も低かった。一方、各項目にボルドー処理の影響は認められなかったが、着果率と着果果そう当たりの着果数には有意な交互作用が認められた。年次別にボルドー処理による差

を比較したところ、2015年は着果率、着果果そう率、着果果そう当たりの着果数がボルドー処理によって有意に向上した。

各年時の開花期(満開2日前から満開2日後の5日間)の気象を比較すると、着果が悪かった2015年は他の3カ年に比べて開花期の降雨日数が5日と多かった。また、最高気温の平均値も15.9℃と他の年次より低かった(第3表)。

2 ボルドー液によって着果誘起された果実の品質 (場内試験)

いずれの調査年も、花粉遮断+ボルドー処理区の品質調査果実はすべて単為結果果実で、有核果実が大半を占める他の区に比べて果実重が軽かった(第4表)。2015年は放任受粉+ボルドー処理区の果実重が放任受粉+ボルドー無処理区より有意に重かったが、その他の3カ年は両区間に有意な差はなかった。

地色と糖度、pHは、いずれの年次も処理区間に有意な差はなかったが、硬度は2016年に処理区間で有意な差が認められ、放任受粉+ボルドー処理区でわずかに低くなった。全収穫果の単為結果率は、4カ年とも花粉遮断+ボルドー処理区で90%以上となり、ほとんどが無核果実であった。一方、2013年と2015年、2016年は放任受粉下においても6.7~19.2%の単為結果が認められたが、いずれの年次もボルドー処理と無処理の間には有意な差は認められなかった。

3 現地実証試験

(1) 現地におけるボルドー液処理が着果と果実品質に及ぼす影響 現地実証試験における着果率を第5表に

示した。分散分析の結果、いずれの受粉処理区も地区による有意な差が認められ、A地区はB地区より着果が優れた。特に花粉遮断区の着果率は両地区間で大きく異なった。ボルドー処理による有意な差が認められたのは花粉遮断区のみであったが、その他の区の着果率もボルドー処理によって高まる傾向を示した。

第5表 現地ほ場におけるボルドー液処理が着果率に及ぼす影響 (2016年)

| 地区 | ボルドー処理 | 受粉処理区別の着果率(%) | | |
|--------------------|-----------|---------------|-------|-------|
| | | 花粉遮断区 | 放任受粉区 | 人工受粉区 |
| A (八女) | 処理 (A-1) | 66.7 | 63.6 | 64.7 |
| | 無処理 (A-2) | 49.3 | 59.5 | 64.8 |
| B (朝倉) | 処理 (B-1) | 14.2 | 53.3 | 60.5 |
| | 無処理 (B-2) | 11.2 | 50.6 | 54.4 |
| 分散分析 ¹⁾ | 地区 | *** | * | * |
| | ボルドー処理 | ** | n. s. | n. s. |
| | 地区×処理 | n. s. | n. s. | n. s. |

1) 逆正弦変換後に分散分析により*は5%、**は1%、***は0.1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし (n=3)

第6表 現地ほ場における開花前のボルドー液処理が果実品質に及ぼす影響 (八女市, 2016年)

| 地区 | ボルドー処理 | 受粉方法 | 果実重 (g) | 地色 (C. C.) | 硬度 (lbs) | 糖度 (°Brix) | ヨード反応 | 単為結果率 ³⁾ (%) |
|--------------------|------------|-------|---------------------|------------|----------|------------|-------|-------------------------|
| A (八女) | 処理 (A-1園) | 花粉遮断 | 317 b ²⁾ | 1.6 | 5.8 | 12.3 | 2.3 | 96.7 a |
| | | 放任受粉 | 332 b | 1.7 | 5.9 | 12.3 | 1.9 | 60.0 b |
| | | 人工受粉 | 378 a | 1.7 | 5.5 | 12.4 | 1.8 | 46.7 b |
| | 無処理 (A-2園) | 花粉遮断 | 317 a | 1.9 | 6.0 | 13.3 | 2.1 | 96.7 a |
| | | 放任受粉 | 343 a | 2.0 | 5.7 | 13.5 | 1.8 | 65.2 b |
| | | 人工受粉 | 370 a | 2.0 | 5.9 | 13.7 | 2.1 | 43.3 b |
| 分散分析 ¹⁾ | ボルドー処理 | n. s. | n. s. | n. s. | *** | n. s. | n. s. | |
| | 受粉方法 | ** | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | *** | |
| | 交互作用 | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | |

1) 分散分析により**は1%水準、***は0.1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし (n=3)

2) 分散分析により受粉方法に有意差が認められたもののみ Tukey の多重比較を行った。ボルドー処理の有無別の受粉方法区間において異文字間に5%水準で有意差あり

3) 逆正弦変換後に統計検定に供した

第7表 現地ほ場における開花前のボルドー液処理が果実品質に及ぼす影響 (朝倉市, 2016年)

| 地区 | ボルドー処理 | 受粉方法 | 果実重 (g) | 地色 (C. C.) | 硬度 (lbs) | 糖度 (°Brix) | ヨード反応 | 単為結果率 ³⁾ (%) |
|--------------------|------------|-------|---------------------|------------|----------|------------|--------|-------------------------|
| B (朝倉) | 処理 (B-1園) | 花粉遮断 | 194 b ²⁾ | 2.3 a | 5.8 | 10.8 | 1.8 a | 86.7 a |
| | | 放任受粉 | 272 a | 2.4 a | 5.9 | 10.9 | 1.6 ab | 13.3 b |
| | | 人工受粉 | 294 a | 2.6 a | 5.4 | 11.3 | 1.2 b | 0 b |
| | 無処理 (B-2園) | 花粉遮断 | 190 b | 1.8 b | 5.9 | 11.5 | 2.2 a | 100 a |
| | | 放任受粉 | 257 a | 2.5 a | 5.7 | 11.7 | 1.3 b | 13.3 b |
| | | 人工受粉 | 281 a | 2.5 a | 5.3 | 11.9 | 1.1 b | 13.3 b |
| 分散分析 ¹⁾ | ボルドー処理 | n. s. | n. s. | n. s. | ** | n. s. | n. s. | |
| | 受粉方法 | *** | *** | n. s. | n. s. | *** | *** | |
| | 交互作用 | n. s. | * | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | |

1) 分散分析により*は5%水準、**は1%水準、***は0.1%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし (n=3)

2) 分散分析により受粉方法に有意差が認められたもののみ Tukey の多重比較を行った。ボルドー処理の有無別の受粉方法区間において異文字間に5%水準で有意差あり

3) 逆正弦変換後に統計検定に供した

第8表 ボルドー液処理によって着果誘起した果実への CPPU と GA 処理が果実品質に及ぼす影響 (筑後市, 2016 年)

| 処理区 ¹⁾ | | | 果実重 (g) | 地色 (C. C.) | 硬度 (lbs) | 糖度 (°Brix) | ヨード 反応 | 単為 結果率 (%) |
|--------------------|--------|-------------|------------|---------------|-------------|---------------|-----------|------------------|
| CPPU処理 | GA処理 | (CPPU+GA併用) | 372 | 1.7 | 6.1 | 12.7 | 3.0 | 83.3 |
| | GA無処理 | (CPPU単用) | 309 | 1.7 | 6.1 | 12.9 | 2.8 | 66.7 |
| CPPU無処理 | GA処理 | (GA単用) | 353 | 2.9 | 5.6 | 13.0 | 1.7 | 66.7 |
| | GA無処理 | (無処理) | 289 | 2.1 | 5.8 | 13.0 | 3.3 | 83.3 |
| 分散分析 ²⁾ | CPPU処理 | | n. s. | ** | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. |
| | GA処理 | | ** | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. |
| | 交互作用 | | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. | n. s. |

1) CPPU 処理：満開 14 日後に 15ppm で果実散布, GA 処理：満開 35 日後に果実果梗部に塗布

2) 分散分析により**は 1%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし (n=3)

現地実証試験における果実品質を第 6 表, 第 7 表に示した。両地区ともに, ボルドー処理園の糖度がボルドー無処理園と比較して低かった。一方, 果実重, 単為結果率には受粉方法による差が認められ, ボルドー処理園, 無処理園ともに花粉遮断区の単為結果率が 86.7~100%と高く, 果実重が軽かった。果実の熟度に関係する地色とヨード反応をみると, 両地区ともボルドー処理による影響は認められなかったが, B 地区で受粉方法による有意な影響が認められ, ボルドー無処理園の花粉遮断区で地色の進みとデンプンの消失が有意に遅かった。

(2) 果実肥大促進処理 試験に供した果実の単為結果率は 66.7~83.3%で, 処理区間に有意な差はなく, 多くの果実が単為結果果実であった(第 8 表)。果実重は GA 処理によって有意に重くなった。他区に比べて CPPU+GA 併用区の果実重が重い傾向があったが, 分散分析では果実重に対する CPPU 処理の影響は認められなかった。一方, CPPU 処理は地色の進みに有意な影響を及ぼし, CPPU を処理した果実では地色の進みが遅れた。ヨード反応には処理区間の有意な差は認められなかったが, GA 単用区でデンプンの消失が早い傾向があり, CPPU+GA 併用区, CPPU 単用区は無処理区と同等の傾向を示した。硬度, 糖度には処理区間の差は認められなかった。

考 察

Hayashida ら (2016) は, ボルドー液による単為結果誘起効果に年次変動を認め, 開花期に低温や降雨が多い年には着果率が低下すると報告している。それらのデータは福岡県とは開花期や気象が異なる三重県で得られたものであるため本県に技術を導入するには独自に着果率やその年次変動を調査する必要がある。そこで, 2013 年から 2016 年の 4 年間, 試験場内において花粉遮断下と放任受粉下におけるボルドー液の着果誘起効果を調査した。

ボルドー液の散布適期は開花 8 日前から開花当日(平塚 2016)とされることから, 本研究では満開 4~8 日前と思われる時期に散布を行った。林田ら (2015) は, 処理区の開花ステージを揃えるために 1 花そうの花蕾数を発

育程度の揃った 3~4 蕾に調整して試験を実施しているが, 本研究では実用化を想定して, 樹の大半の花そうが満開 4~8 日前と思われる発育程度(第 1 図)の日にボルドー液を散布した。2013 年は開花前の気温が他の年次より低く(第 3 表), 花そうの発育が緩慢になったため満開 10 日前の処理となったが, Hayashida ら (2016) は, より生育ステージの早い萌芽期のボルドー処理でも効果を認めていることから試験結果に影響はないと判断した。

花粉遮断下における着果率と着果果そう率はボルドー処理によって有意に高くなり, 本県においてもボルドー液による着果誘起効果が認められた(第 1 表)。しかし, 花粉遮断下のボルドー処理区の 4 カ年の着果率は 5.0~16.1%で, 標準的な人工受粉の着果率である 80~90%(平塚ら 2002, 加藤 2007, 阪本 2009)に比べると非常に低かった。実際の栽培における最終的な着果数は全開花数の 5%程度で, 摘果の労力を考慮すると良質の幼果が 10~20%着果するのが理想(平塚ら 2009)とされているが, 本研究では 10%に満たない年もあり, 花粉遮断下におけるボルドー処理区の収量性が低い可能性が示唆された。同区の収量性の低さは着果果そう率や着果果そう当たりの着果数からもうかがえた。「幸水」の慣行栽培では果実を 3~4 果そうに 1 果の割合で着果させる(水戸部 1997)ため, 着果果そう率は 25~33%となる。本試験の花粉遮断下におけるボルドー処理区の着果果そう率は 28.3~64.2%で慣行栽培と同等の着果数を確保することが可能な値ではあった。しかし, 2015 年は着果果そう率が 28.3%, 着果果そう当たりの着果数が 1.3 果で, 慣行栽培と同等の着果量を確保するには変形果や小玉果であっても残さざるを得ない値であった。Hayashida ら (2016) は 4 カ年の調査で 15~50%程度の高い着果率を得ている。両研究で着果率が大きく異なった要因としては, 気象の差や試験樹の樹齢(Hayashida らは 40 年生以上, 本研究では 7 年生), 試験方法の違い(Hayashida らは蕾の発育ステージを揃えて処理している)などが考えられるが明らかではない。ボルドー処理による無受粉栽培の実用化にあたっては低くとも 10~20%の安定した着果率が必要と考えられることから, 着果率向上の条件について今後も検討

を要する。

放任受粉下においては、ボルドー処理による着果率の向上が認められない年の方が多かった(第2表)。これらの年は気象条件が良かったため、隣接園から訪花昆虫が飛来しボルドー処理区の花にも十分に受粉してしまったためと推察された。放任受粉下においてボルドー液による着果率の向上が確認されたのは、開花期に低温・降雨が続いた2015年のみであった。降雨時は訪花昆虫による受粉が期待できないうえ、15℃以下の低温では花粉の発芽が著しく不良になる(加藤2007)ため、2015年の放任受粉下におけるボルドー無処理区の着果率は16.1%と他の年次に比べて著しく低かった。一方で、ボルドー処理区の着果率、着果率その率はボルドー無処理区よりも有意に高く、着果率その当たりの着果数も多かった。Hayashidaら(2016)は降雨の多い年は気象条件の良い年に比べてボルドー液の効果が低下するが、そのような年でもボルドー処理区の着果率は無処理区よりも高いことを報告している。本試験においても、低温・降雨の続いた2015年は他の年次よりボルドー液の単為結果誘起効果が低下していた可能性があるが、それ以上に放任受粉の結果が悪かったため、ボルドー液の効果が顕在化したものと推察された。

場内における4カ年の果実品質調査の結果、放任受粉下(ほぼ有核果)ではボルドー処理区と無処理区の間で果実重や硬度、糖度等に有意な差はなかった(第4表)。一方、花粉遮断下のボルドー処理区の調査果実はすべて単為結果で放任受粉区に比べて果実重が有意に軽かったが、硬度、糖度、pHに有意な差はなく食味は同等であった。なお、単為結果果実は有核果実に比べて果芯部が小さく、可食部の割合が大きくなる(渡邊ら2014, 平塚2016)とされるが、果芯部自体は残るため、無核果実という点において販売上の優位性はほとんどないものと思われる。

2016年には現地実証試験を実施したが、現地においても場内試験と同様にボルドー処理によって花粉遮断区の着果率が有意に向上し、放任受粉区や人工受粉区の着果率には有意な影響は認められなかった(第5表)。一方、果実品質は場内試験と異なる結果となり、ボルドー液を処理した園の糖度がボルドー無処理園に比べて有意に低下した(第6表, 第7表)。現地試験ではボルドー処理区と無処理区で園が異なることから園地間差の影響が考えられるが、両地区とも試験園はほぼ隣接しており気象条件や土壌条件に大きな違いはないことから糖度低下の理由は明らかではなかった。場内における4年間の調査ではボルドー処理による有意な糖度低下は確認されず(第4表)、林田ら(2015)の試験においてもボルドー処理によって糖度が低下するとの結論は得られていないが、糖度は食味を左右する重要な形質であるため再度検証する必要がある。

Hayashidaら(2013)や林田ら(2015)の報告と同様に、本研究においても単為結果した果実は有核果実に比べて有意に小さかった。そこで、Hayashidaら(2016)が効果を認めたGAペーストとCPPUを用いた果実肥大促進について検討した。試験は、満開4日前にボルドー液を散布

し放任受粉として実施したが、収穫果実の多くが単為結果(単為結果率66.7~88.3%)で、処理区間に統計的な有意差もなかったことから、いずれの処理区も概ね単為結果果実を対象として試験できたものと判断した。果実肥大はHayashidaら(2016)の報告と同様にCPPU+GA併用区の果実が他区に比べて大きい傾向を示したが、果実重に有意な影響が認められたのはGA処理のみでCPPU処理には有意差が認められなかった(第8表)。地色の変化やヨード反応から果実成熟の早さを比較すると、GA単用区が最も早い傾向があり、CPPU+GA併用区とCPPU単用区は無処理区と同等か遅れる傾向が認められた。Hayashidaら(2016)は、CPPU処理果の熟期は慣行の果実(GAペースト無処理)と同等であることからCPPU処理は有効であるとしているが、本県では慣行的にGAペースト処理による熟期促進によって有利販売を行っているため、本県において単為結果果実の肥大を促進させるには、成熟遅延の可能性のあるCPPU処理よりもGA単用処理が適していると判断した。

以上の結果から、本県の「幸水」においても開花前ボルドー処理による単為結果誘起効果が認められた。しかし、その効果に年次間差やほ場間差が認められ、特に花粉遮断下においては、十分な着果量を確保できない場合もあった。よって、現時点の技術ではボルドー液散布のみの完全な無受粉栽培で慣行栽培並みの収量を安定的に得ることは困難であると思われる。技術確立のためには、今後も様々な条件下での試験事例を蓄積し、着果率が向上する条件を検証する必要がある。一方で、放任受粉下では、開花期が天候不順であった2015年にボルドー処理によって無処理区よりも有意に着果率が向上した。このことから、人工受粉や虫媒受粉が前提であれば、開花前のボルドー液散布は天候不順時の結実対策として実用性が高いと判断された。近年、温暖化の影響で開花期が前進化し(杉浦ら2007)、低温に遭遇することが多くなっていることから、本技術の重要性は一層高まるものと思われる。なお、ICボルドー48Qは黒星病に適用のある殺菌剤であるため、現在の開花前に実施されている化学合成農薬による黒星病防除の代替として利用可能である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、窪山 登氏、内田繁治氏、大石豊氏には快く現地実証試験に協力していただいた。深く感謝の意を表します。

本研究の一部は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業『ニホンナシ「幸水」を無受粉で作る！ボルドー液を利用した単為結果技術の実用性評価(25045B)』により実施した。

引用文献

Hayashida T, Horikawa A, Nada K, Hiratsuka S (2013) Copper and zinc ions induce both stylar RNase inhibition and fruit set in Japanese

- pear. Sci. Hort. 164:160-164.
- 林田大志・名田和義・平塚 伸(2015)ボルドー液によるニホンナシ「幸水」の省力的な着果管理法. 園学研 14(4) : 357-363.
- Hayashida T, Nada K, Hiratsuka S(2016)Induction of parthenocarpy by Bordeaux mixture and its use for cultivation in Japanese pear 'Kosui'. Hort. J. 85(3) :193-200.
- 平塚 伸・渡辺 学・河合義隆・前島 勤・川村啓太郎・加藤尉行(2002)ニホンナシに対するギ酸カルシウムの摘花作用. 園学雑 71(1) :62-67.
- 平塚 伸・堀川晃宏・名田和義・伊藤 寿・大野秀一・三井友宏・加田 弘(2009)リンゴの自家不和合性打破剤のニホンナシに対する効果の検証. 園学研 8(4) : 469-473.
- 平塚 伸(2016)ボルドー液処理でナシ幸水の無受粉・省摘果栽培. 現代農業 5 : p. 208-211.
- 加藤 修(2007)ニホンナシの人工受粉(5). 農業および園芸 82(9) : 1031-1038.
- 水戸部 満(1997)果実の大きさと着果量. 農業技術大系果樹編 3 ナシ・西洋ナシ. 農山漁村文化協会, 東京, p. 技 41 の 3-技 41 の 7.
- 阪本大輔(2009)溶液受粉技術. 農業技術大系果樹編 3 ナシ・西洋ナシ. 農山漁村文化協会, 東京, p. 技 30 の 6-技 30 の 10.
- 佐藤康一・松田省吾・木戸啓二・佐竹正行・工藤郁也(1989)ラ・フランスの収穫期判定について. 山形園試研報 8 : 11-23.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義(2007)温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研 6(2) : 257-263.
- 渡邊辰彦・松本和紀・三井友宏・後藤雅之・松本辰也・平塚 伸(2014)ボルドー液散布処理によって誘発されたニホンナシ「幸水」の単為結果した果実における品質および糖組成. 園芸学会九州支部研究集録 22:22.
- Zhang C, Lee U, Tanabe K(2008) Hormonal regulation of fruit set, parthenogenesis induction and fruit expansion in Japanese pear. Plant Growth Regul. 55: 231-240.