

# 植物成長調節剤ACCの研究開発



## Development of a Plant Growth Regulator, ACC

ACC is a naturally occurring non-protein amino acid that is rapidly converted to ethylene in plant tissues. ACC has unique activity as a chemical thinning agent in apples and stone fruits that provides fruit growers with a new tool to reduce their dependence on labor for crop load management. Furthermore, ACC is an alternative to ethephon in programs for coloring table grapes. ACC is highly safe for humans, animals and the environment, and is exempt from tolerance with the US EPA.

### はじめに

気体であるエチレンは、植物の成長を制御する物質として1世紀以上前に初めて報告され<sup>1-3)</sup>、現在ではオーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、アブシシン

Valent BioSciences LLC

Steven MCARTNEY  
Parvesh SHARMA  
Mark ZHEN  
Maria HERRERO  
Derek WOOLARD  
Brian SOPCAK

Sumitomo Chemical Agro Europe S.A.S.

Michael SCHROEDER

Sumitomo Chemical Chile S.A.

Antonieta VERDUGO

住友化学株式会社

アグロ&ライフソリューション研究所

河 村 充 展

生物環境科学研究所

川 本 研 介  
池 田 雄 基

Valent BioSciences LLC

Steven MCARTNEY  
Parvesh SHARMA  
Mark ZHEN  
Maria HERRERO  
Derek WOOLARD  
Brian SOPCAK

Sumitomo Chemical Agro Europe S.A.S.

Michael SCHROEDER

Sumitomo Chemical Chile S.A.

Antonieta VERDUGO

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Agro & Life Solutions Research Laboratory

Mitsunobu KAWAMURA

Environmental Health Science Laboratory

Kensuke KAWAMOTO

Yuki IKEDA

酸と並ぶ五つの「古典的」植物ホルモンの一つとされている。エチレンは、種子の発芽、果実の成熟、老化、器官の脱落、色素形成、性決定など、植物のさまざまな発育過程を調節する。こうした植物の生育に多様な影響を与える特性を活用し、エチレンは商業的な



**Fig. 1** Importance of manual fruit thinning for enhancing harvest value in stone fruit orchards

Stone fruit orchards use expensive manual labor to reduce the number of fruit per tree early in the season in order to achieve larger fruit and higher crop value at harvest. The photograph on the left above shows an individual peach fruit with a high number of fruit per shoot whereas the photograph on the right represents the commercial crop load (number of fruit per shoot) after hand thinning.

果実生産において世界的に長年利用されている。リンゴ生産における植物成長調節剤の主要な用途の一つは化学的摘果であり、これは花や果実の脱落を誘導するものである。化学的摘果は、高コストな手作業の代替として、樹木上の果実数を減らすことで果実のサイズを大きくし、収穫時の価値を向上させる手段として利用されている。一方、モモ、ネクタリン、スイートチェリーなどの核果類では、効果的な化学的摘果方法が存在しないため、現在では人件費が高騰する中、手作業によって樹木ごとの摘果（以下、手摘果）が行われているのが現状である（Fig. 1）。

エチレン放出剤である2-クロロエチルホスホン酸（エテホン）は、リンゴの摘果剤や、ブドウ（特に食用）の赤色（アントシアニン）形成を促進する目的で使用されてきた。しかし、エテホンは、気温が高いときに散布することによって摘果効果が高まることが知られており、散布時期によっては過剰摘果の懸念がある<sup>4</sup>。このように、エテホンによる摘果効果は予測が困難であることから、リンゴの摘果プログラムにおいては通常最後の手段として位置付けられている。また、エテホンは核果類果樹園での化学的摘果には使用されていない。これは、エテホンが「樹脂病（ゴム病）」と呼ばれる生理学的反応を引き起こし、樹木の健康を損ない、最終的には枯死につながる可能性があるためである。さらに、収穫間近にエテホンを使用した場合（例：ブドウやブルーベリーなどの着色促進を目的とした使用）、残留農薬基準を超える可能性があることから規制上の監視が強化される傾向にある。以上のことから、残留性が低く、核果類にも使用可能な摘果剤/着色剤の代替剤開発が必要とされていた。

1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸（ACC, Fig. 2）は、自然界に存在する非タンパク質構成アミノ酸である。ACCは、1979年に植物内でエチレンの前駆体であ

ることが特定され<sup>5</sup>、植物自身の酵素系を利用して最終的にエチレンに変換されることから、農薬化合物としての活用が期待されていた。ACCのエチレンへの変換は、ACCを処理した後にリンゴ<sup>6</sup>や核果類<sup>7</sup>において通常速やかに進行し、適用翌日にピークを迎え、その後8日間で徐々に無処理と同程度まで低下することが報告されている。エテホンが植物細胞内のアルカリ性による単純な化学反応によりエチレンに分解されるのに対して<sup>8</sup>、ACCは酵素反応によりエチレンへと変換される。エテホンとACCではエチレンの生成機構が全く異なるため、リンゴや核果類の果実の摘果や食用ブドウの着色促進に使用した場合、それぞれ異なる効果や特性を持つことが期待される。

本稿では、ACCの生物効果、製剤、製造法、哺乳類や環境への安全性について報告する。



**Fig. 2** Chemical structure of ACC

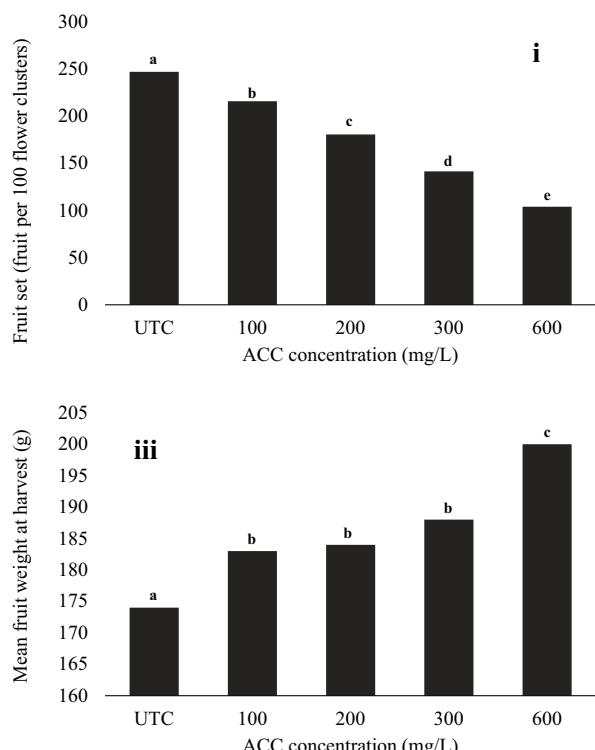
## 生物効果

### 1. リンゴに対する摘果効果

2020年にイタリアのエミリア＝ロマーニャ州アルジェンタにおいて、リンゴ品種「Modi」を対象に摘果試験を実施した。40%水溶性粒剤（Accede SG）として、ACCを100、200、300または600 mg/Lの濃度で4本の樹木区画に散布し、無処理対照区と比較した。最高処理濃度は、EPPO規格PP 1/135 (4)に基づき作物の安全性を検証するために設定した。処理は、果実の平均直径が18 mmの時点で、モーター式噴霧器を用いて1ヘクタールあたり1,000リットルの散布量で行わ

れた。本試験は、ランダム化完全ブロック法に基づく4反復で実施した。各区画の中央2本の樹木について、開花時および手摘果直前に、それぞれ1本あたりの花数と果実数を記録した。摘果効果は、着果率（100花房あたりの果実数）として定量化した。本試験におけるすべての樹木は、ACC散布後48日目に、標準的な作物管理手法に従い、商業的に許容される作物負荷レベル（1本あたり約110果実）にまで手摘果により果実を除去し、その数を記録した。また、収穫時には平均果実重量および1ヘクタールあたりの収量を記録した。これらのデータをFig. 3に示す。

ACC濃度の増加に伴い、着果率（Fig. 3. i）および手摘果で除去する必要のある果実数（Fig. 3. ii）は直線的に減少した。さらに、ACC処理濃度の増加により、収穫時の平均果実重量（Fig. 3. iii）および1ヘクタールあたりの収量（Fig. 3. iv）が濃度依存的に直線的に増加した。これらの結果は、リンゴ摘果剤としてACCを使用することの有用性を明確に示している。ACCを使用することで、生産者は手摘果に必要な労働力を削減できるとともに、平均果実重量および1ヘクタールあたりの収量の増加により作物価値を向上させることができるとなる。果実数を調整した後において、果実数が同等となつた無処理区よりもACC処理で収量が増加したが、これは果実数の早期減少が平均果実重量の増加をもたらした結果であると考えられる。

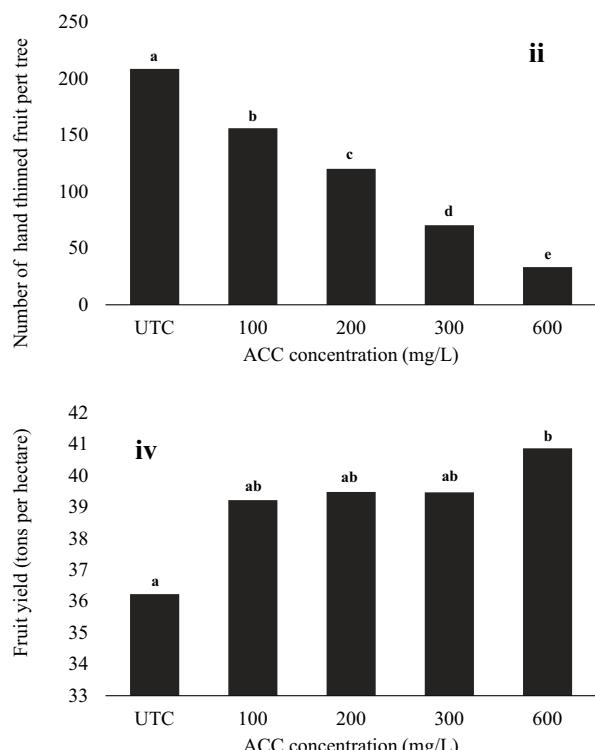


**Fig. 3** Effect of ACC concentration on fruit set (i), number of fruit removed by hand thinning to reach a commercial crop load (ii), mean fruit weight at harvest (iii) and fruit yield per hectare (iv) of apple cv. 'Mod' Bars with different letters denote significant differences at  $P<0.05$  using Tukey's HSD test. UTC, untreated control

ACCは、リンゴの摘果剤として米国、メキシコ、カナダ、ブラジル、南アフリカ、チリで登録されており、その他のいくつかの国でも登録作業が進んでいる。ACCは、カルバリル、ナフタレン酢酸（NAA）、6-ベンジルアデニンなどの既存の摘果剤と組み合わせて、200 mg/Lから400 mg/Lの濃度で摘果を目的として使用することができる。ACCは、リンゴの満開期から「中心果（果房の中央に位置する最も大きく発育が良く、摘果作業において優先的に残される果実）」の平均直径が25 mmになるまでの期間に適用可能である。リンゴの果実は、直径が15 – 20 mmのときにACCに対して最も感受性が高いのに対し、他の多くの摘果剤は果実が8 – 12 mmのときに効果を発揮する。このACCの独自の特性により、気象条件により摘果剤処理のタイミングが遅れざるを得ない場合や、早期の摘果剤処理効果が不十分な場合に、リンゴ生産者にとって有望なツールとなる。

## 2. 核果果樹に対する摘果効果

2020年にギリシャのペラ地方ギャニツアにおいて、ネクタリン品種「Orion」を対象に摘果試験を実施した。Accede SGとして、ACCを100、200、300、400、500、800または1,000 mg/Lの濃度で単木区画に散布し、手摘果を行わない無処理対照区およびACCを散布せず手摘果のみを行った対照区（手摘果区）と比較した。800 mg/Lおよび1,000 mg/Lの高濃度処理は、



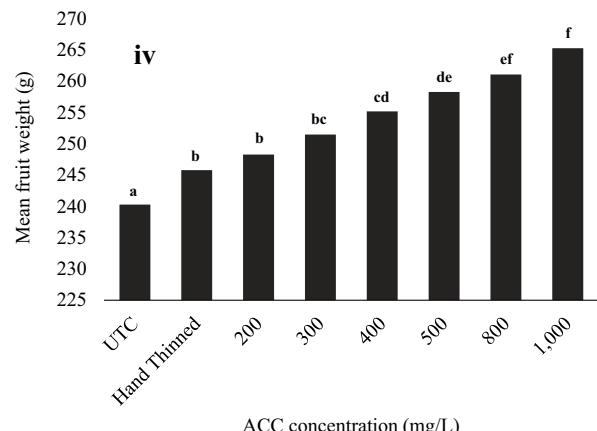
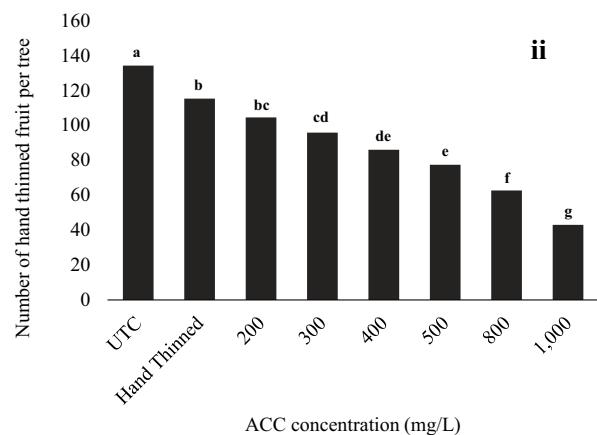
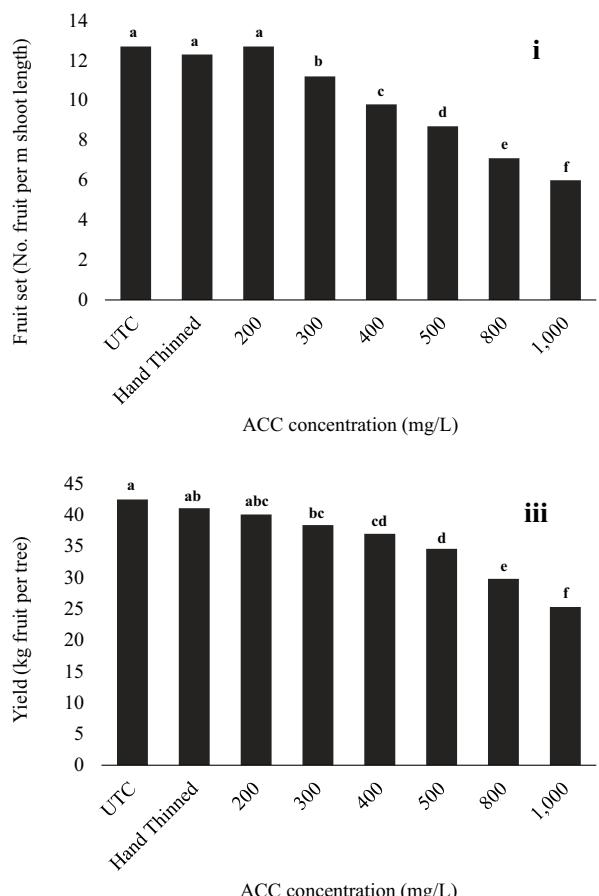
EPPO規格PP 1/135 (4)に基づき作物の安全性を検証する目的で設定した。処理は、開花前 (BBCH 57: pink bud stage) に、モーター式噴霧器を使用し、1ヘクタールあたり800リットルの散布量で行った。本試験は、ランダム化完全ブロック法に基づく6反復で実施した。ACCの摘果効果は、手摘果直前 (散布後48日目) に15 - 20本のサンプル枝 (1本の樹木あたり合計約350花房を提供) を対象に、着果率 (手摘果前の枝長1メートルあたりの果実数) として定量化した。摘果効果のデータ収集後、すべての樹木は、標準的な作物管理手法に従い、商業的に許容される作物負荷レベルまで手摘果により果実を除去し、その数を記録した。また、収穫時には1本あたりの平均果実重量および果実収量を記録した。これらのデータをFig. 4に示す。

ACCの処理濃度が300 mg/Lを超えると、枝長1メートルあたりの果実数の減少 (Fig. 4.i) によって測定される摘果活性が有意に直線的に増加した。また、ACCの摘果活性の結果として、手摘果により1本の樹木から除去されるべき果実数が並行して減少した (Fig. 4.ii)。ACCの処理濃度が400 mg/Lを超えると、果実収量が手摘果区と比較して顕著に減少し (Fig. 4.iii)、過剰摘果となる傾向が見られた。この過剰摘果により、収

穫時の果実サイズが有意に大きくなったものの (Fig. 4.iv)、平均果実重量の増加は樹木あたりの果実数の減少を補うには至らず、最終的に収量は減少した (Fig. 4.iii)。これらのデータは、ACCがネクタリンの着果数を減少させ、手作業による摘果の必要量を大幅に削減し、収穫時の果実重量を増加させる能力を有することを示している。しかし同時に、ACCの処理濃度が高くなると、過剰摘果が発生し、収穫時の果実収量が減少する可能性があることも示している。

一連の試験において、核果類品種によるACCへの感受性には大きな差があることが確認されている。このため、過剰摘果や摘果不足のリスクを軽減するには、品種ごとに適切なACCの処理濃度を設定することが重要である。さらに、核果類生産におけるACCの使用目的は、手作業による摘果を完全に排除することではなく、着果数を減少させることで手摘果の必要量を40 - 60%削減することにあると考える。

ACCは、米国、チリ、南アフリカにおいて核果類の摘果剤として登録されている。ACCは、開花前 (BBCH 57: pink bud stage) から花弁落下期 (BBCH67: flowers fading) までの期間に、モモ、ネクタリン、スモモ、スイートチェリーなどの作物に適用可能である。ただ



**Fig. 4** Effect of ACC concentration on fruit set (i), number of fruit removed by hand thinning to reach a commercial crop load (ii), fruit yield per tree (iii) and mean fruit weight at harvest (iv) of nectarine cv. 'Orion'. Bars with different letters denote significant differences at  $P<0.05$  using Tukey's HSD test. UTC, untreated control



Fig. 5 Effect of ACC concentration on coloration of 'Red Globe' table grapes

Photographs were taken one week after the first ACC application.  
UTC, untreated control

し、開花期に霜の発生リスクがある場合にはACCを散布してはならない。この時期に霜が発生した場合、生産者は花や芽の損傷を評価し、ACCによる追加摘果が必要かどうかを判断することが推奨される。さらに、ACCは花弁落下後のモモやネクタリンに適用することはできない。これは、葉の黄化や落葉のリスクが増加するためである。

### 3. ブドウの着色促進効果

ペルーのグラン・チムーにおいて、食用ブドウ品種「レッドグローブ」の着色促進に及ぼすACC処理濃度の影響を評価した。ACCは10%液剤（Accede SL）として、1ヘクタールあたり1,000リットルの水量で三つのブドウ畠に散布した。処理区は、無処理の対照区およびACC濃度112、224、336または448 mg/L（製剤量として1ヘクタールあたり1、2、3、4リットルに相当）の区分とした。実験はランダム化完全ブロック法に基づく4反復で実施した。ACC処理は果実の80 – 100%が「ヴェレゾン」（着色軟化期）に達した時点で行い、7日後に2回目の散布を実施した。各区画内の中央のブドウの木に付いている40房の果実にタグを付け、着色評価を行った。ブドウは2回収穫し、各収穫日に商業的に許容可能な着色レベルに達した房のみを摘み取った。収穫は最初のACC処理から21日後および28日後に行った。各収穫日に摘み取られた房の重量は、総重量に対する割合として表した。

果皮におけるアントシアニン色素の蓄積による赤色への着色は、環境条件が理想的である場合、ACC処理後比較的速やかに進行する。本研究では、「レッドグローブ」において、ACC処理の着色に及ぼす明確な濃度依存的効果が、最初の散布から7日後には観察された（Fig. 5）。ACCによる着色の促進は、最初の収穫時に明らかであり、対照区の木では果房の37%しか商業的に許容可能な赤色に達していなかったのに対し、ACCの最高濃度では果房の80%が許容可能な赤色に達していた（Fig. 6）。

本研究の結果は、食用ブドウの着色促進にACCを使用することで、市場価値の高い早期収穫時により多くの果房を収穫できる可能性があることを示している。他の研究では、ACC処理による果実着色の促進により

収穫の齊一性が向上することで、農家の収穫回数を減らせるほか、最終収穫時には市場価値のない果房の数を減らせる可能性が示されている。

### 4. ACCからエチレンへの変換における温度の影響

モモおよびリンゴの葉におけるACCによるエチレン生成に対する温度の影響を環境制御実験により検討した。比較のため、実験には等モル濃度のエテホンも用いた。モモ「フレーバーリッチ」およびリンゴ「ジュネーブ41」を温度制御された温室で栽培した。十分に葉が展開した段階で、300 mg/LのACCまたは429 mg/Lのエテホンを十分量散布し、一晩温室内に戻した。翌日、葉を木から切り取り、重量を測定した後、密閉容器に封入し、暗所で5 – 40 °Cの温度でインキュベートした。容器上部のエチレンを、水素炎イオン化検出器を用いたガスクロマトグラフィーにより分析した。

ACCおよびエテホン処理によるエチレン放出には、いずれも温度依存性が認められた（Fig. 7）。モモおよびリンゴの葉におけるエチレン生成に対する温度の影響は、両者とも類似した傾向を示した。ACCによるエチレン放出は5 – 20 °Cの範囲で直線的に増加し、この温度範囲ではエテホンによるエチレン放出

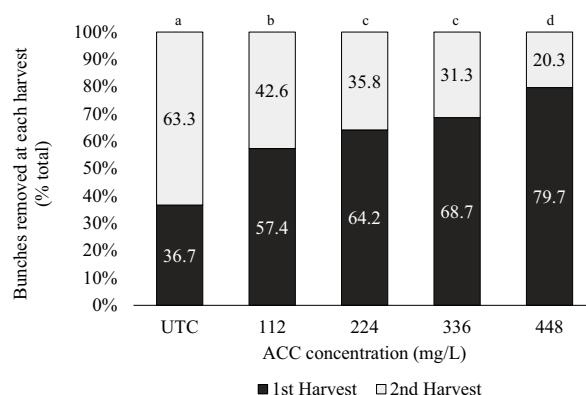
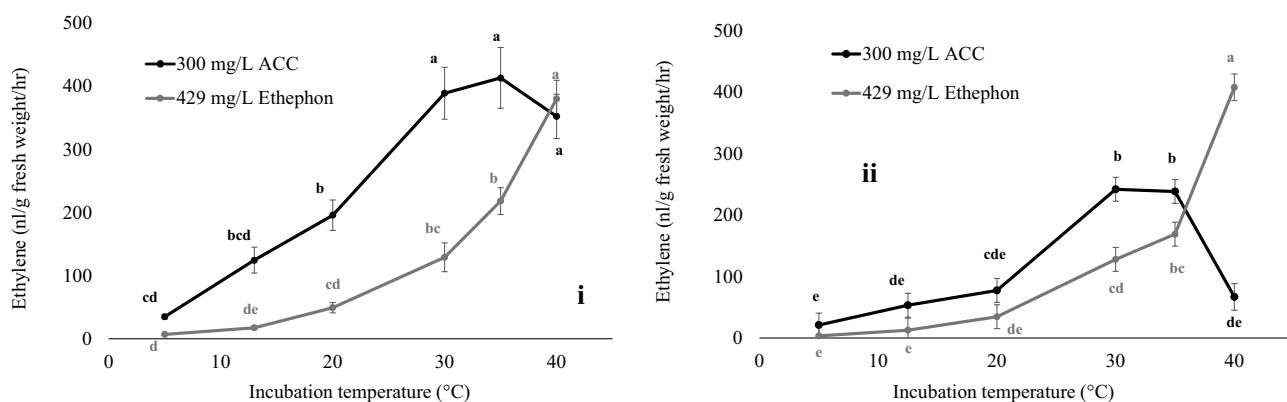


Fig. 6 Effect of ACC concentration on the percentage of bunches removed at each harvest  
Only bunches that had reached the commercially acceptable level for red color were removed at each harvest.  
Bars with different letters denote significant differences at  $P < 0.05$  using Fisher's LSD test. Percentage data were arcsine square root transformed prior to analysis.  
UTC, untreated control



**Table 1** Physical properties of Accede SL and Accede SG formulations

Physical property	Accede SL	Accede SG
Active wt/wt%	10%	40%
Formulation Type	Soluble Liquid (SL)	Soluble Granule (SG)
Color	Clear yellow	Off-White Granule
pH (1% w/v in water)	5.7	5.2
Density (g/ml)	1.12	0.4

よりも一貫して高かった。ACCによるエチレン放出は30 – 35 °Cの範囲でプラトーに達したのち減少した一方、エテホンによるエチレン放出は40 °Cまで増加し続けた。これらの結果は、両植物成長調整剤におけるエチレン放出の異なる動態を示した先行研究を支持するものである。さらに、ACCは、高温条件におけるエチレンの放出量がエテホンよりも少なく、散布後に高温にさらされても過剰摘果のリスクが生じにくいことが示唆された。

## 製剤

ACCは、液剤であるAccede SL (10% wt/wt) および水溶性粒剤であるAccede SG (40% wt/wt) として製剤化されている。この2種類の製剤の物理的特性をTable 1に示した。

Accede SGの製剤化には、活性成分を不活性成分、結合剤、水と混合し、押出成形に適した混練物を形成する工程を含む。初期のパイロットスケールでの製造試験では、混練工程で顕著な発熱が認められ、適量の結合剤添加が困難であった。このため、粒状製剤の耐摩耗性が不十分となる問題が生じた。これらの問題は、ACCの水への特異的に強い親和性に起因していることが判明した。ジベレリン酸やS-アブシシン酸など

の他の植物成長調節剤の活性成分とは異なり、ACCと水はこれまで知られていなかった水和物を生成し、その過程で熱を発生させることが確認された。この熱は混練物の物理的特性を変化させ、適量の水添加を妨げるため、製造プロセスが不安定化した。製造プロセスに複数の改良を施すことで、これらのスケールアップに伴う課題を解決することができた。

両製剤は水中でわずかに酸性のpHを示し、圃場での施用で問題は起きないものと考えている。Accede SLは、低温条件下でも散布液に完全かつ即座に混合することができる。一方、Accede SGは水中で容易に分散し、数回の攪拌で完全に溶解する。Accede SGの外観をFig. 8に示すが、ほとんど微粉を含まないこ



**Fig. 8** Appearance of Accede SG formulation

とが確認できる。両製剤ともに優れた化学的安定性を有しており、一般的な農薬と高い混用性を示す。

## 製造法

ACCは1980年代から注目され、製造法について多くの研究がなされていた。さまざまな合成ルートが提案されていたが、フリー体としての単離には技術的な課題があった。ACCは、分子量101.1という低分子非タンパク質構成アミノ酸であり、水に高い溶解性を持つが、フリー化時に副生する塩も水溶性を有しACCと非常に近しい物理的化学的性質を有する。そのため、ACCフリー体と副生する塩の分離・精製が困難であった(Fig. 9)。

この難題を解決すべく、フリー化に使用する試薬や溶媒等、精製条件について鋭意検討を行い、結晶形を精密に制御することでACCと副生する塩の溶解度差を拡大し、ACCをフリー体として単離できることを見いだした。以降、製造ルートの選抜、製造プロセスの研究をすすめ、高品質なバイオラショナル製品としての製造法を確立することができた。

## 毒性・代謝・残留

### 1. 哺乳動物毒性

#### (1) 急性毒性、刺激性および皮膚感作性

ACC原体の急性毒性は極めて弱く、ラットへの経口

および経皮投与における急性毒性値 (LD<sub>50</sub>) が5,000 mg/kg体重を上回り、また、ラットへの吸入曝露では急性毒性値 (LC<sub>50</sub>) が5,100 mg/m<sup>3</sup>を上回った。いずれの投与経路においても死亡は認められなかった。ACCの製剤であるAccede SGの急性毒性も極めて弱く、5,000 mg/kg体重の経口および経皮投与、ならびに5,100 mg/m<sup>3</sup>の吸入曝露で死亡は認められなかった。ACC原体の眼に対する刺激性はごく軽度であり、皮膚に対する刺激性は軽度であった。Accede SGの眼および皮膚に対する刺激性は認められなかった。ACCは、原体およびSGのいずれでも皮膚感作性を示さなかった (Table 2)。

#### (2) 亜急性、慢性毒性および発がん性

ラットおよびマウスを用いた亜急性、慢性毒性および発がん性試験において、ACC原体を反復投与すると体重低値が認められたが、その他の毒性影響は認められなかった。また、ラットにおいて発がん性は認められなかった (Table 3)。

#### (3) 発生・生殖毒性

ラットおよびウサギを用いた催奇形性試験では、胎児に対して催奇形性は認められなかった。ラットを用いた拡張1世代繁殖毒性試験では、繁殖能および哺育能に影響は認められなかった (Table 4)。拡張1世代繁殖毒性試験において、ACC原体投与群の脳に空胞化が認められたが、機序解明試験の結果、動物の生前に

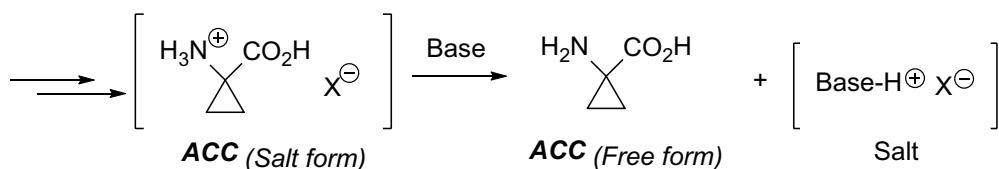


Fig. 9 Isolation method of ACC (free form)

Table 2 Acute toxicity summary of ACC

Test type	ACC TGAI	Accede SG
Rat acute Oral (LD <sub>50</sub> )	> 5,000 mg/kg	> 5,000 mg/kg
Rat acute Dermal (LD <sub>50</sub> )	> 5,000 mg/kg	> 5,000 mg/kg
Rat acute inhalation (LC <sub>50</sub> )	> 5,100 mg/m <sup>3</sup>	> 5,100 mg/m <sup>3</sup>
Eye irritation (Rabbit)	Minimally irritating	Non-irritant
Skin irritation (Rabbit)	Slightly irritating	Non-irritant
Skin Sensitization (mouse)	Non-sensitizer	Non-sensitizer

TGAI, technical grade active ingredient  
SG, water soluble granule

空胞は生じておらず、動物の死後に臓器固定液（10% 中性緩衝ホルマリン液）に脳を浸漬したことによって空胞が生じたことが示され、毒性影響ではないと考えられた。

#### （4）神経毒性

ラットを用いた28日間の反復神経毒性試験では、神

経毒性影響は認められなかった（Table 5）。

#### （5）遺伝毒性

ネズミチフス菌および大腸菌を用いた復帰突然変異試験、マウスリンパ腫由来L5178Y細胞を用いた遺伝子突然変異試験、チャイニーズハムスター卵巣由来CHO-WBL細胞を用いた染色体異常試験、ヒト末梢血

**Table 3** Subacute and chronic toxicity summary of ACC

Species	Administration route and duration	Dose	NOAEL (mg/kg/d)
Rat	Dermal, 28 days	421, 738, 1,054 mg/kg/d	Male: 1,054 Female: 1,054
Rat	Oral (Dietary), 28 days	5,00, 8,700, 11,600 ppm	Male: 1,185 (11,600 ppm) Female: 1,245 (11,600 ppm)
Rat	Oral (Dietary), 13 weeks	750, 3,000, 12,000 ppm	Male: 794 (12,000 ppm) Female: 963 (12,000 ppm)
Rat	Oral (Dietary), 24 months	1,000, 3,000, 10,000 ppm	Male: 393 (10,000 ppm) Female: 138 (3,000 ppm) No carcinogenicity
Mouse	Oral (Dietary), 13 weeks	1,500, 3,500, 7,000 ppm	Male: 883 (7,000 ppm) Female: 1,071 (7,000 ppm)

NOAEL, no-observed-adverse-effect level

**Table 4** Developmental and reproductive toxicity summary of ACC

Study	Species	Administration route and duration	Dose	NOAEL (mg/kg/d)
Developmental toxicity	Rat	Oral (Dietary) Days 6–21 of gestation	5,000, 8,000, 13,000 ppm	Maternal 982 (13,000 ppm) Fetal 982 (13,000 ppm)
	Rabbit	Oral (Gavage) Days 7–28 of gestation	125, 250, 500 mg/kg/day	Maternal 250 Fetal 500
Extended one generation reproductive toxicity	Rat	Oral (Dietary)	2,500, 5,000, 10,000 ppm	Parental Male: 271 (5,000 ppm) Female: 647 (10,000 ppm)
				Offspring Male: 543 (10,000 ppm) Female: 647 (10,000 ppm)
				Reproductive Male: 701 (10,000 ppm) Female: 763 (10,000 ppm)

NOAEL, no-observed-adverse-effect level

**Table 5** Neurotoxicity summary of ACC

Study	Species	Administration route and duration	Dose	NOAEL (mg/kg/d)
Neurotoxicity	Rat	Oral (Dietary), 28 days	2,500, 5,000, 10,000 ppm	Male: 755 (10,000 ppm) Female: 829 (10,000 ppm)

NOAEL, no-observed-adverse-effect level

**Table 6** Genotoxicity summary of ACC

Study	Study design	Results
Bacterial reverse mutation study	<i>Salmonella typhimurium</i> : TA1535, TA1537, TA98, TA100 <i>Escherichia coli</i> : WP2 <i>uvrA</i> - / +S9 mix: 1.5–5,000 µg/plate	Negative
Mammalian cell gene mutation study (TK)	Mouse lymphoma cells L5178Y TK <sup>+/−</sup> - / +S9 mix: 100–2,000 µg/mL	Negative
<i>In vitro</i> chromosomal aberration study	Chinese Hamster Ovary (CHO-WBL) Cells - / +S9 mix: 253–1,010 µg/mL	Negative
<i>In vitro</i> micronucleus study	Human peripheral blood Lymphocytes - / +S9 mix: 50–1,012 µg/mL	Negative
<i>In vivo</i> micronucleus study	CD-1 mice bone marrow Oral (gavage): 500, 1,000, 2,000 mg/kg	Negative

リンパ球を用いた*in vitro*小核試験およびマウスを用いた*in vivo*小核試験を実施した結果、いずれも陰性であった (Table 6)。

## 2. 動物・植物代謝

### (1) 動物における代謝

<sup>14</sup>Cで標識したACCをラットに経口投与したところ、速やかに体内に吸収されて全身に分布した。その後、吸収されたACCは代謝を受けず、未変化体のままその大部分が24時間以内に尿中に排泄された。経口投与時の吸収率は82%以上と推定され、組織への残留性・蓄積性はなかった。

### (2) 植物における代謝

ACCの植物における代謝については、複数の作物（果菜類、葉菜類、豆類、穀類、根菜類）で調査した文献が存在する。それらの文献情報から、ACCの主要代謝分解経路は、三員環の酸化的開裂によるエチレンの生成と、マロン酸抱合によるMACC (malonyl-1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) の生成であると考えられた。

## 3. 環境挙動および残留

### (1) 水中における分解

<sup>14</sup>C標識体を用いた加水分解および水中光分解試験で、ACCは緩衝液中で安定であった。一方で、自然水を用いた好気的表層水中生分解試験においては、ACCは速やかに分解され、消失半減期は0.52–0.85日であった。水中での主要分解経路は、三員環の開裂に伴う2-ケト酸 (2-KBA) の生成であり、最終的に二酸化炭素へ無機化すると考えられた。

### (2) 土壤中における代謝

<sup>14</sup>C標識体を用いたACCの好気的土壤中動態試験での消失半減期 (20 °C) は0.5–3.0日であった。土壤中の主要分解経路は水中での分解経路と同様、三員環の開裂に伴う2-KBAの生成であり、最終的に二酸化炭素へ無機化すると考えられた。

### (3) 土壤移行性

フロイントリッヒ吸着等温式をもとに求めたACCの有機炭素含有量で補正した吸着係数K<sub>Foc(ads)</sub>は0.57–300.7 (幾何平均値: 7.0 (pH<7)、260.4 (pH>7)) であった。

### (4) 作物残留

Accede SGを400 g a.i./haでリンゴに1回散布したところ、残留濃度は定量限界未満 (<0.04 mg/kg) であった。また、Accede SGを480 g a.i./haでモモおよびネクタリンに1回散布したところ、収穫適期でのACCの最大残留濃度はそれぞれ、0.08 mg/kgおよび0.07 mg/kgであった。

## 4. 非標的生物に対する影響

水産動植物、節足動物および鳥類における試験結果をTable 7に要約した。

### (1) 水産動植物に対する影響

ACC原体の魚、オオミジンコおよび淡水緑藻の急性毒性値 (LC<sub>50</sub>/EC<sub>50</sub>/ErC<sub>50</sub>) は、それぞれ>117、>105および0.21 mg/Lであった。また、Accede SGでの淡水緑藻の急性毒性値 (ErC<sub>50</sub>) は0.21 mg a.i./Lであった。これらの値は実施用から予想される環境水中の濃度よりも十分に高く、ACCの水産動植物に及ぼす影響は低いと考えられた。

**Table 7** Ecotoxicological summary of ACC on non-target organisms

Test substance	Test species	Test type	Results
ACC TGAI	Aquatic organisms	Rainbow trout	Acute (96 hours) $LC_{50} > 117$ mg/L
		<i>Daphnia magna</i>	Acute (48 hours) $EC_{50} > 105$ mg/L
		Green alga <sup>1</sup>	Acute (72 hours) $ErC_{50} = 0.21$ mg/L
Arthropods	Honeybee <sup>2</sup>	Acute oral (48 hours)	$LD_{50} > 254.4$ $\mu$ g/bee
	Honeybee <sup>2</sup>	Acute contact (48 hours)	$LD_{50} > 120.9$ $\mu$ g/bee
Bird	Bobwhite quail	Acute oral (14 days)	$LD_{50} = 343$ mg/kg
Accede SG	Aquatic organisms	Green alga <sup>1</sup>	Acute (72 hours) $ErC_{50} = 0.21$ mg/L
	Arthropods	Honeybee <sup>2</sup>	Acute oral (48 hours) $LD_{50} > 43.05$ mg/bee
		Honeybee <sup>2</sup>	Acute contact (48 hours) $LD_{50} > 59.99$ mg/bee
		<i>Aphidius rhopalosiphii</i>	Acute contact (2 days) $LR_{50} > 545$ g/ha
		<i>Typhlodromus pyri</i>	Acute contact (7 days) $LR_{50} = 264$ g/ha

<sup>1</sup> *Raphidocelis subcapitata*<sup>2</sup> *Apis mellifera*

TGAI, technical grade active ingredient

SG, water soluble granule

## (2) 節足動物に対する影響

ACC原体のセイヨウミツバチにおける経口投与および接触投与での急性毒性値 ( $LD_{50}$ ) はそれぞれ  $>254.4$  および  $>120.9$   $\mu$ g/頭であった。また、Accede SGでの各毒性値はそれぞれ  $>43.05$  および  $>59.99$   $\mu$ g a.i./頭であった。Accede SGの寄生蜂 (*Aphidius rhopalosiphii*) および捕食性ダニ (*Typhlodromus pyri*) における接触投与での急性毒性値 ( $LR_{50}$ ) はそれぞれ  $>545$  および 264 g a.i./haであった。これらのことから、実施用でのACCの節足動物に及ぼす影響は低いと考えられた。

## (3) 鳥類に対する影響

ACC原体のコリンウズラにおける急性毒性は弱く、経口投与での $LD_{50}$ 値は343 mg/kgであり、実施用でのACCの鳥類に及ぼす影響は低いと考えられた。

以上より、ACC原体およびAccede SGの哺乳動物に対する急性毒性は極めて弱く、長期にわたってACC原体を摂取したとしても発がん性・催奇形性および繁殖性など次世代への悪影響はないものと考えられた。また、環境中での挙動、非標的生物に対する影響評価に基づいて安全な使用が可能であると考えられる。

## おわりに

ACCは、非タンパク質構成アミノ酸であり、植物が元来有している生化学的経路を介して迅速にエチレンへと変換される。エチレンは、種子発芽、果実の成熟、老化、器官の離層形成、色素形成、性決定など、

植物のさまざまな発育過程を調節する役割を果たしている。ACCは現在、リンゴおよび核果の生産体系における化学的果実摘果剤として、またいくつかの国では食用ブドウの赤色形成促進剤として登録されている。ACCは、既存のリンゴ摘果剤と比較して、果実が直径15 – 20mmの段階でより高い感受性を示し、リンゴ摘果剤として独自の活性を有している。また、ACCは複数の国で核果に対する唯一の登録摘果剤（2025年10月時点）であり、生産者に対して化学的な摘果手段を提供することで、手作業による摘果に伴う高額な労働コストの削減を可能にする。さらに、ACCは食用ブドウの赤色形成を残留物の懸念なく促進することができ、既存のエチレン放出剤であるエテホンに対して優位性がある。エチレンは植物発育において多様な役割を果たしており、今後、ACCの新たな農業用途での開発も期待できる。

## 謝辞

本研究を支える効果試験の設計および実施において専門知識を提供してくださった世界中の多くの契約研究機関の皆さんに心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) D. Neljubov, Pflanzen Beitrage und Botanik Zentralblatt, 10, 128 (1901).
- 2) W. Crocker and L.I. Knight, Botanical Gazette, 46, 259 (1908).

- 3) L. I. Knight *et al.*, *Science*, 31, 635 (1910).
- 4) K. M. Jones and T. B. Koen, *J. Hort. Sci.*, 60, 21 (1985).
- 5) D. O. Adams and S. F. Yang, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 76, 170 (1979).
- 6) S. J. Mcartney, *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 86, 640 (2011).
- 7) E. Torres *et al.*, *J. Plant Growth Regul.*, 43, 4171 (2024).
- 8) H. L. Warner, and A. C. Leopold, *Plant Physiol.*, 44, 156 (1969).

## PROFILE



*Steven MCARTNEY*

Valent BioSciences LLC  
Product Development Manager, Ph.D.



*Parvesh SHARMA*

Valent BioSciences LLC  
Senior Formulations Scientist, Ph.D.



*Mark ZHEN*

Valent BioSciences LLC  
Manager, Formulation R&D, Ph.D.



*Maria HERRERO*

Valent BioSciences LLC  
Sr. Director Global Regulatory Affairs



*Derek WOOLARD*

Valent BioSciences LLC  
Senior Research Scientist



*Brian SOPCAK*

Valent BioSciences LLC  
Research Associate



*Michael SCHROEDER*

Sumitomo Chemical Agro Europe  
S.A.S  
SSBU Development and Technical  
Lead, Ph.D



*Antonieta VERDUGO*

Sumitomo Chemical Chile S.A  
Product Development Specialist



*河村 充展* *Mitsunobu KAWAMURA*

住友化学株式会社  
アグロ&ライフソリューション研究所  
主席研究員  
博士（薬学）



*川本 研介* *Kensuke KAWAMOTO*

住友化学株式会社  
生物環境科学研究所  
主席研究員



*池田 雄基* *Yuki IKEDA*

住友化学株式会社  
生物環境科学研究所  
研究員