

(千葉大学学位申請論文)

メロンの果実内発芽に関する
栄養・生理学的研究

2013年1月

千葉大学大学院園芸学研究科
環境園芸学専攻
生物資源科学コース

越智 靖文

目 次

緒 論	．．．	1
第 1 章	メロンの果実内発芽と内生アブシジン 酸含量に及ぼす硝酸態窒素施用の影響	
	緒 言	．．． 8
	材 料 お よ び 方 法	．．． 9
	結 果	．．． 13
	考 察	．．． 15
	摘 要	．．． 20
第 2 章	メロンの果実内発芽と内生アブシジン 酸含量に及ぼすカリウム施用の影響	
	緒 言	．．． 26
	材 料 お よ び 方 法	．．． 27
	結 果	．．． 31
	考 察	．．． 33
	摘 要	．．． 39

第 3 章	高カリウム施用によるメロン種子の果 実内発芽の抑制	
	緒言	．．． 46
	材料および方法	．．． 47
	結果	．．． 50
	考察	．．． 52
	摘要	．．． 56
第 4 章	外生アブシジン酸処理によるメロン種 子の果実内発芽の抑制	
	緒言	．．． 61
	材料および方法	．．． 62
	結果	．．． 65
	考察	．．． 67
	摘要	．．． 70
第 5 章	総合考察	．．． 75
	結論	．．． 81
	参考	．．． 84
	Summary	．．． 86
	謝辞	．．． 92
	引用文献	．．． 94

緒 論

メロンは、Naudinの交雑和合性を参考にした方法により *Cucumis* 属の属種 *Cucumis melo* L. に分類され、その変種の主なものとして、*conomon*, *makuwa*, *albida*, *flava*, *reticulatus*, *cantalupensis*, *inodorus* の7種が挙げられる（藤井，1972）。日本では、マクワウリ（*makuwa*）など漬物用種が古くから栽培されており縄文時代の遺跡からその種子が発掘されている。一方、マクワ以外のメロンは、明治初年に福羽逸人氏が *Cantalupensis* を導入したことをきっかけとして、その後明治中期、後期にかけて「アールス・フェボリット」を代表とする英国系温室メロンが入り、温室栽培が行なわれるようになった。温室メロン（*reticulatus*）は、いわゆる高級品としての地位を確立するようになったが、一般庶民が家庭で食することのできるいわゆるホームメロンではなかった。その後、マクワと温室メロン、マクワと *cantalupensis* や *inodorus* の交雑種の中から、廉価なメロンのさがけ「プリンス」（坂田種苗，1962）が育成され、そして栽培が容易で可食期間が長く、品質もよいホ

ームメロン「アイボリー」「コサック」（日本園芸生産研究所，1970）が発表され，日本の食卓に欠かせない存在となっていた．

2011年度の「農林水産統計」によるとメロンは，「指定野菜に準ずる野菜」26品目の中に含まれる．その栽培面積は8,190ha，生産量は179,500tであり，それぞれ対前年度比の95%であるものの依然として高い需要があることを示している．

その需要に応えるため，果肉色の緑・赤・白，果皮色の灰・緑・白・黄，ネットの有無，作型，耐病性などの遺伝形質の多様な組み合わせにより多くの品種が生み出され，日本国内だけで現在までに430品種が育成されている（伊東，2009）．その品種改良の過程で，一部の遺伝資源の中に果実内で種子が発芽するものがあり，青果栽培も含め，特に採種栽培で問題になっている．この事はメロンの高品質安定生産や品種改良を行う上で，大きな障害となっており，この問題に注目し，研究に着手した．

一般的に，種子が成熟過程で発芽することはないが，栽培中に果実内で種子が発芽する現象は，以前からキュウリ，トマト，ダイズなどの多くの作物で確認されている（深城，1936）．その現象の英語表

記は， seed - sprouting (Dos Santos・Yamaguchi, 1979), precocious germination(Welbaum ら , 1990), vivipary (Marrush ら , 1998) など , 統一がみられない . 深城 (1936) は , 「不 正 常 発 芽」 と 表 記 して いるが , 本論文では , その現象の表記を「果実内発芽」とする . 果実内発芽は , 特に採種栽培において問題になるが , 実際の採種栽培におけるこの現象の情報 は , あまり公開されていない .

マメ類などの乾果では , 種子の成熟過程で水分含有量が低下して行くことが , 果実内発芽の抑制要因の一つ (Ackerson, 1984; Barlow ら , 1980) と考えられている . しかし , トマト・メロンなどの漿果では , 胎座部周辺が果汁で満たされており , 種子がその成熟過程で常時水分に曝されているため , 発芽抑制機構は , より複雑である .

Welbaum (1990) は , メロンの果実内発芽の抑制要因を , 果汁の浸透圧による種子の生理的乾燥と , 発芽抑制や休眠継続に関与するホルモン「アブシジン酸」(以降 ABA と省略) の作用と考え , 浸透圧と ABA 濃度の異なる溶液中でメロン種子を発芽させ , それらが高い環境でメロンの発芽が抑制されると報告している .

古くは深城（1936）により果実内発芽と果汁の浸透圧の関係について報告されているが，果汁の内生ABAと果実内発芽の関係についての報告はみられない．

ABAは，ワタの果実離脱(abscission)を促進する物質(abscisin II)として1963年に単離され，その後，樹木の冬芽の休眠(dormancy)を誘導する物質(dormin)と同一であることが明らかになった．現在知られているABAの生理作用には，種子休眠の誘導と維持，種子貯蔵タンパク質合成誘導，気孔の閉鎖，ストレス抵抗性遺伝子発現誘導などがある(小柴ら，2006)．

成熟過程の種子発芽とABAの関係については，小麦の穂発芽に関して多くの報告があり，種子中のABA含量が多い品種で穂発芽が少ない(Walker-Simmons，1987)ことが知られている．一方，Milborrow(1969)は数種の植物について果肉中のABA含量は種子の約10倍であると報告しており，種子だけでなく果肉や果汁中のABAが果実内発芽の抑制に関与している可能性があると考えられる．しかし，トマトやメロンなどの漿果において，種子や果汁中のABA含量と果実内発芽の関係を実際の

栽培試験を行い調査した知見はみられず，また，果実内発芽の難易度の異なる品種を用いて比較した試験もみられない．

一方，採種栽培において果実内発芽は母本の栄養状態に影響を受けることが経験的に知られており，加工用トマトにおいて，窒素施肥量が多い圃場で果実内発芽が多く発生するとの報告（Yamaguchiら，1967）もみられる．また，シロイヌナズナを用いた試験で硝酸態窒素が種子の休眠を打破するという報告があり，硝酸態窒素がABAまたはジベレリン（GA）の生合成経路に影響を与えることが示唆されている（Alboresiら，2005）．

果実内発芽と施肥条件について，窒素以外にカリウムとの関連が指摘されており，ハクサイ（岩田・江口，1958），ピーマン（Harrington，1960；Marrushら，1998）およびトマト（Dos Santos・Yamaguchi，1979）においてカリウム施肥量の減少により果実内発芽が発生するとの報告がある．

カリウム施肥量とABAの関係については，乾果であるピーマン一品種を用いた試験で，カリウム濃度の低下により種子中のABA含量が減少し，果実内発芽が増加すること（Dos Santos・Yamaguchi，1979）

が報告されている。しかし，果実内発芽の難易度の異なる品種・系統の果実内発芽とABA含量について調査した知見はなく，メロンなどの漿果において，胎座部周辺の果汁中のABA含量と果実内発芽の関連を調査した報告はみられない。

本研究では，第1章・第2章において果実内発芽に対する感受性の異なるメロン系統を用い，窒素・カリウム施肥が異なる条件で採種栽培を行い，漿果における果実内発芽発生のメカニズムについて明らかにした。第3章・第4章では，前章までの結果をもとに果実内発芽の抑制方法を検討した。

本論文は2007年3月から2011年3月にわたり，財団法人日本園芸生産研究所（現，公益財団法人園芸植物育種研究所）で試験を行い，2012年4月から2013年3月までの千葉大学大学院園芸学研究科在学中に学位論文としてまとめたものであり，全5章からなる。第1章は硝酸態窒素施用が内生アブシジン酸含量と果実内発芽に及ぼす影響について調査した栽培試験；第2章はカリウム施用が内生アブシジン酸含量と果実内発芽に及ぼす影響について調査した栽培試験；第3章は高カリウム施肥による果実内発芽の抑制について検討した栽培試験；第4章は低

カリウム施肥下における外生アブシジン酸処理が果
実内発芽の抑制に及ぼす影響について検討した栽培
試験であり，第 5 章は総合考察とした．

第 1 章 メロンの果実内発芽と内生アブシジン酸含量に及ぼす硝酸態窒素施用の影響

緒 言

栽培中に果実内で成熟過程の種子が発芽する現象「果実内発芽」は、以前からキュウリ、トマト、ダイズなどの多くの作物で確認されている（深城，1936）。果実内発芽は、特に採種栽培において問題になると考えられるが、実際の採種栽培におけるこの現象の情報は、あまり公開されていない。

果実内発芽は採種母本の栄養状態に影響を受けることが知られており、加工用トマトにおいて、窒素施肥量が多い圃場で果実内発芽が多く発生するとの報告（Yamaguchiら，1967）がみられる。また、シロイヌナズナを用いた試験で硝酸態窒素が種子の休眠を打破するという報告があり、硝酸態窒素がABAまたはジベレリン（GA）の生合成経路に影響を与えることが示唆されている（Alboresiら，2005）。

一方、成熟過程の種子発芽とABAの関係については、

小麦の穂発芽に関して多くの報告があり，種子中のABA含量が多い品種で穂発芽が少ない（Walker-Simmons, 1987）ことが知られている．しかし，トマトやメロンなど多汁質の漿果において，種子や果汁中のABA含量と果実内発芽の関係を実際の栽培試験を行い調査した知見はみられず，また，果実内発芽の難易度の異なる品種を用いて比較した試験もみられない．

第1章では，果実内発芽の難易度の異なるメロン2系統を用い，異なる硝酸態窒素施肥条件下で栽培し，果実内発芽と内生ABAの関係を究明しようとした．

材料および方法

試験1．

1. 供試植物と試験区

供試植物は，（財）日本園芸生産研究所でメロンの育種過程で収集した素材の中に果実内発芽し易い系統‘S・VS’と果実内発芽し難い系統‘R・VS’が確認されたのでそれらを母系として供試した．

栽培試験は，養液栽培で行い，培養液に山崎メロン処

方を用いた。交配期から培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度のみを変え、2倍濃度区 ($26.0 \text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$)、標準濃度区 ($13.0 \text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$) および 1/2倍濃度区 ($6.5 \text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$) の3水準で処理を行った。2倍濃度区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の調節は、山崎メロン処方に NaNO_3 を添加することにより、1/2倍濃度区は、 KNO_3 を削減し K_2SO_4 で代替することにより行った。

2. 耕種概要

2007年3月13日に培養土を充填した育苗箱に播種し、3月20日に10.5 cmポットに鉢上げし29日間育苗した後、4月11日に本葉3枚の苗をピートモス：バーミキュライト (7:3) の培地を充填した15 L容のポリ袋に1株ずつ植え、硬質プラスチックハウス (8 m×30 m) 内に30 cm間隔で設置した。定植株数は、各処理区16株2反復計32株とした。

交配は、5月8～11日の間に行った。父系として当所育成の系統Aを用い、午前10時頃までに交配した。

培養液の給液は、圧力補正付きドリッパー (吐出量 $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\times 4$ 個、4枝マニフォールド間隔30 cm、ネタフィルムジャパン) で点滴灌液した。定植から交配前日ま

では、すべての処理区において標準濃度の培養液を与え、交配開始日から供試2系統のそれぞれを上記3水準の濃度で20日間灌液した。

整枝法は、慣行の1本仕立て栽培とし、親づるの11～15節の子づるに2果着果させた。

収穫は、種子成熟過程の交配後35日と種子完熟期の50日の2回行った。

3. 調査方法

完熟期の果実を収穫した後、地上部生体重・果重を測定した。

収穫した果実は、25℃で2週間追熟した。追熟後、ABA含量測定用の種子および果汁サンプルを採取して-80℃で凍結保存し、分析に供した。

他の種子については、胎座部と種子を取り出して24時間追熟させた後、比重選により充実した種子を選別し乾燥させ、気温10℃・相対湿度30%以下の条件で貯蔵し、果実内発芽率調査、発芽試験および異なるABA濃度の水溶液を用いた発芽試験を行った。

1) 果実内発芽率調査

種皮が割れて幼根または子葉が見える種子を果実内発

芽とし，採種粒数に対する割合を調査した．

2) 発芽試験

国際種子検査規定（ISTA）に準じ，濾紙を2枚敷いた12cmシャーレ内に種子を50粒置床し8mlの蒸留水を灌水後，25℃で7日間インキュベートし発芽率を調査した．

3) 異なる ABA 濃度の水溶液を用いた発芽試験

異なる窒素施用条件で採種した‘S・VS’および‘R・VS’を供試し，Abscisic acid（98%，Aldrich）を溶解したABA水溶液（0，61，246，492および985 ng・mL⁻¹）を用い，ISTAの方法に準じ発芽率を調査した．

4) ABA 分析

種子・胎座部果汁中のABA分析は，-80℃に凍結保存したサンプルを用いた．Arenas-Huerta（2000）の方法に準じ，種子100mg程度を液体窒素で凍結粉砕し，抽出用メタノール（10mM HCl，1% [w/v] ポリビニルピロリドン）2mlを用い4℃条件下で12時間振とう抽出した．抽出液を中和後，遠心分離した上澄み液を用いPhytodetek-ABAKIT（Agdia Inc.）により遊離型*cis*-ABAを定量した．

5) 葉色分析

葉色は，交配終了後 4 週目に第 8～10 節の葉について葉緑素計（ミノルタ，SPAD-502）で測定し SPAD 値で表示した。

6) 葉柄中の硝酸イオン (NO_3^-) 濃度分析

硝酸イオン濃度は，交配終了後 2 週目に第 18 節の葉柄を葉身とともに採取し，葉柄のみを 1 g 秤量し乳鉢で破碎し，小型反射式光度計（Merch, RQflex10）により測定した。

結 果

1. 生育・種子収量

地上部生体重は，‘S・VS’において硝酸態窒素 (NO_3^- -N) 濃度が高くなるほど増加する傾向がみられた。果重は，‘S・VS’において NO_3^- -N 濃度が高くなるほど増加する傾向がみられ，逆に ‘R・VS’においては減少する傾向がみられた。1 果実当たりの種子数は，交配後 35 日収穫では NO_3^- -N 濃度が高くなるほど増加する傾向がみられた。種子数は，交配後 50 日収穫においては，‘S・VS’

では有意な差はみられなかったが，‘R・VS’については，6.5 me 区で減少した．千粒重は，35 日収穫，50 日収穫ともに有意な差はみられなかった．葉色は，両系統とも $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど値が高くなった（第 1-1 表）．

2. 葉柄汁液中・胎座部周辺果汁中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度

葉柄中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は，両系統ともに $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど増加した．胎座部周辺果汁中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も，両系統ともに 35 日収穫・50 日収穫いずれも $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど増加した（第 1-2 表）．

3. 果実内発芽率・胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含量

果実内発芽は，‘S・VS’の 50 日収穫において発生し， $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 6.5 me 区ならびに 13.0 me 区よりも 26.0 me 区で増加した．一方，‘R・VS’においては，すべての $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度で果実内発芽はみられなかった．胎座部周辺果汁中の ABA 含量は，35 日収穫において $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど低下する傾向がみられ，‘R・VS’より‘S・VS’で含量が少なかった．この傾向は，50 日収穫でも同様であった．種子中の ABA 含量については，有意な差はみられなかった（第 1-3 表）．

4. 種子発芽率

発芽率は，両系統ともに35日収穫において， $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど有意に増加する傾向がみられた．50日収穫においても $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなるほど増加する傾向がみられた（第1-4表）．

5. 異なるABA濃度の水溶液を用いた発芽試験

‘R・VS’は，すべての $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度区から採種した種子において，ABA濃度が高くなるほど発芽率が減少する傾向がみられた．一方，‘S・VS’の発芽率は，26.0 me区の種子においてABA濃度に影響を受け難い傾向がみられたが，13.0 me区，6.5 me区の種子では，高濃度のABA下で発芽率が減少する傾向がみられた（第1-1図）．

考 察

1. 窒素施肥量が果実内発芽とABA含量に及ぼす影響

Yamaguchiら（1967）は，加工用トマトにおいて，窒素施肥量が多い圃場で果実内発芽が多く発生すると報告している．本試験でも果実内発芽し易い系統において，硝酸態窒素の増施により果実内発芽率が高くなる傾向が

みられた。

Daieら(1979)は、硝酸態窒素の欠乏によりトマト葉中のABA含量が増加すると報告している。本試験では、硝酸態窒素の増施により、胎座部周辺果汁中のABA含量が減少する傾向がみられた。特に35日収穫において、その傾向が顕著であった。Welbaum(1999)は、メロン‘Top Mark’の種子について、交配後30日から発芽能力を有し、交配後35日に乾物重が上限に達すると報告している。そのため、交配後35日の胎座部周辺果汁中のABA含量は、果実内発芽の抑制に重要な役割を果たしていると考えられる。本試験の交配後35日収穫の種子も発芽能力を有しており、硝酸態窒素施肥量の増加に伴い発芽率が増加した。交配後35日収穫の種子数も硝酸態窒素施肥量の増加に伴い増加したことから、窒素施用により種子形成が促進され、発芽率が増加した可能性があることも示唆された。

一方、硝酸態窒素は、硝酸イオン(NO_3^-)の形で植物体内に吸収され、硝酸還元酵素(nitrate reductase; NR)により亜硝酸(NO_2)に還元され、さらに一酸化窒素(NO)に還元されることが知られている。また、一酸

化窒素合成酵素 (nitric oxide synthase; NOS) による NO の合成も起きる (Crawford, 2006) ことが知られている。NO の施与により種子の休眠が打破され、発芽が促進されるとの報告 (Bethke ら, 2004, 2006; Libourel ら, 2006; Sarath ら, 2006) がみられる他、ABA による気孔の閉鎖に NO が関与しているとの報告 (Desikan ら, 2002) がみられることから、本試験の硝酸態窒素の増施に伴う胎座部周辺ならびに種子中の ABA の減少と果実内発芽の増加には、NO の関与もありうる。また、Alboresi ら (2005) は、硝酸態窒素がシロイヌナズナの種子の休眠打破に関与すると報告し、硝酸態窒素が ABA またはジベレリン (GA) の生合成経路に影響を与えることを示唆しており、硝酸態窒素の増施により GA 生成量が増加している可能性があることも考えられる。

2. 果実内発芽の系統間差異と ABA 含量の関係

Walker-Simmons (1987) は、乾果である小麦の穂発芽抵抗性品種と穂発芽感受性品種について胚の内生 ABA 含量を調査し、抵抗性品種より感受性品種の ABA 含量が 25%低いと報告している。本試験のメロンにおいては、種子中の ABA 含量については有意な差はみられな

かったが、胎座部周辺果汁中の ABA 含量において果実内発芽し難い系統より果実内発芽し易い系統で有意に少なかった。Welbaum (1990) は、メロンの果実内発芽の抑制要因を、果汁の浸透圧による種子の生理的乾燥と、ABA の作用と考え、浸透圧と ABA 濃度の異なる溶液中にメロン種子を置床し、モデル試験を行った。その試験により、メロン果汁の浸透圧と ABA 濃度の低下がメロンの果実内発芽の一因であることを示唆している。本試験による実際の採種栽培においてもメロンの胎座部周辺果汁中の ABA 濃度の低下に伴い果実内発芽が増加する結果となり、漿果においては胎座部周辺果汁中の ABA 含量が果実内発芽の抑制要因であり、また、果実内発芽の系統間差異の一因であると考えられた。

一方、Walker-Simmons (1987) は、小麦の穂発芽抵抗性品種と穂発芽感受性品種の胚について ABA 水溶液内で発芽試験を行い、感受性品種より抵抗性品種の方が ABA による発芽抑制効果が高い、つまり ABA に対する感受性が高いことを報告している。本試験においても、NO₃-N 標準施肥区と 2 倍施肥区の種子について同様の傾向がみられた (第 1 図)。

3. 果実内発芽と葉柄汁液中・胎座部果汁中の NO_3^- 濃度の関係

メロンのリアルタイム栄養診断では，葉柄汁液の NO_3^- 濃度の基準として，果実肥大期は 4,000～5,000 ppm を適正範囲としている（山田，2004）．本試験の葉柄汁液中の硝酸イオン濃度も， $\text{NO}_3^- \text{N}$ 標準施肥区において適正範囲であった．また，本試験では，交配開始日から硝酸態窒素処理を開始し，果実内発芽の発生に違いがみられたことから，メロン採種を養液土耕など肥料条件を制御し易い方式で行うときは，交配期以降に小型反射式光度計を使用したリアルタイム栄養診断技術（田中，2003）を利用し，果実内発芽を軽減できる可能性があると考えられる．

本章の結果より，メロンにおける果実内発芽は，硝酸態窒素の増施により胎座部周辺果汁中の ABA 含量が減少することが一因であると考えられた．また，果実内発芽し易い系統は，胎座部周辺果汁中の ABA 含量が果実内発芽し難い系統よりも少ないため，果実内発芽が発生すると考えられた．

摘 要

果実内発芽と内生アブシジン酸含量の関係を明らかにするために、果実内発芽し難い系統と果実内発芽し易い系統の2供試材料を、硝酸態窒素濃度の異なる3種の培養液（6.5, 13, および 26 me・L⁻¹）で栽培した。その結果、果実内発芽は、果実内発芽し易い系統において、最も高い窒素濃度（26 me・L⁻¹）で栽培されたときに増加した。しかし、果実内発芽し難い系統では、すべての窒素濃度下で、果実内発芽が認められなかった。また、両系統において、窒素濃度が高くなるほど胎座部周辺の果汁中のABA含量が減少した。また、果実内発芽し易い系統よりも果実内発芽し難い系統の方が胎座部周辺果汁中のABA含量が高かった。以上の結果から、硝酸態窒素施肥量の増加により、胎座部周辺果汁中のABA含量が減少し、その結果として果実内発芽が増加すると考えられた。また、果実内発芽し易い系統では、果汁中のABA含量が低いと推察された。

Table 1-1. Plant and fruit weight, number of seed per fruit, weight of 1,000 seeds, leaf color as affected by nitrate nitrogen fertilization.

Line	Nitrate nitrogen concentration (me·L ⁻¹)	Plant weight (g)	Fruit weight (g)	Number of seeds per fruit		Weight of 1,000 seeds (g)		Leaf color ^w
				35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP	
S · VS	6.5	724 b ^z	1,115 b	178 c	263 b	28.9 a	33.4 a	48.3 d
S · VS	13.0(Cont.)	810 b	1,291 ab	214 b	245 b	29.5 a	34.2 a	55.9 c
S · VS	26.0	1,262 a	1,335 a	234 ab	248 b	30.1 a	34.1 a	63.8 a
R · VS	6.5	690 b	976 c	202 b	218 c	20.9 b	22.5 c	53.4 c
R · VS	13.0(Cont.)	666 b	839 d	235 ab	291 a	22.1 b	24.2 b	60.3 b
R · VS	26.0	756 b	793 d	273 a	287 a	22.1 b	23.1 bc	66.5 a
Line (L)		**^y	**	NS	NS	**	**	**
Nitrate (N)		**	**	*	NS	NS	NS	**
Line×Nitrate (L×N)		**	*	NS	NS	NS	NS	NS

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

^x DAP stands for days after pollination.

^w Values are measured by chlorophyll meter SPAD-502 (KONICA MINOLTA).

Table 1-2. NO₃⁻ concentration in petiole sap and juice around placenta grown under different nitrate concentration.

Line	Nitrate nitrogen concentration (me·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ concentration in petiole sap (ppm)	NO ₃ ⁻ concentration in juice around placenta (ppm)		
			35DAP ^x	50DAP	
S · VS	6.5	1,576	c ^z	2.4 d	6.7 c
S · VS	13.0 (Cont.)	3,942	b	7.0 c	9.7 b
S · VS	26.0	9,092	a	11.6 b	14.7 a
R · VS	6.5	1,640	c	2.4 d	3.0 d
R · VS	13.0 (Cont.)	4,240	b	10.2 b	3.3 d
R · VS	26.0	9,614	a	16.6 a	5.7 c
Line (L)		NS ^y		*	*
Nitrate (N)		**		**	**
Line × Nitrate (L × N)		NS		NS	NS

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P < 0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

x DAP stands for days after pollination.

Table 1-3. Rate of sprouted seed, abscisic acid content in juice around placenta and seed as affected by nitrate nitrogen fertilization.

Line	Nitrate nitrogen concentration (me·L ⁻¹)	Rate of sprouted seed (%)				Abscisic acid content in juice around placenta (ng·g ⁻¹ FW)				Abscisic acid content in seed (ng·g ⁻¹ FW)			
		35DAP ^x		50DAP		35DAP		50DAP		35DAP	50DAP		
S · VS	6.5	0.00	a ^z	0.86	b	211.4	c	41.3	b	47.2	a	41.4	a
S · VS	13.0 (Cont.)	0.00	a	0.82	b	171.6	cd	38.5	c	45.2	a	36.5	a
S · VS	26.0	0.00	a	3.21	a	121.1	d	39.8	c	35.1	a	31.1	a
R · VS	6.5	0.00	a	0.00	c	489.0	a	52.0	a	45.7	a	43.9	a
R · VS	13.0 (Cont.)	0.00	a	0.00	c	375.9	ab	59.9	a	34.0	a	27.1	a
R · VS	26.0	0.00	a	0.00	c	280.5	b	44.8	b	35.2	a	27.9	a
Line (L)		NS^y		**		**		**		NS		NS	
Nitrate (N)		NS		*		*		*		NS		NS	
Line × Nitrate (L × N)		NS		NS		NS		NS		NS		NS	

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

^x DAP stands for days after pollination.

Table 1-4. Germination rate as affected by nitrate nitrogen fertilization.

Line	Nitrate nitrogen concentration (me·L ⁻¹)	Germination rate(%) ^w	
		35DAP ^x	50DAP
S · VS	6.5	58.5 b ^z	99.0 ab
S · VS	13.0 (Cont.)	76.0 a	99.6 ab
S · VS	26.0	80.5 a	100.0 a
R · VS	6.5	30.5 c	97.6 b
R · VS	13.0 (Cont.)	35.5 c	99.0 ab
R · VS	26.0	74.0 a	100.0 a
Line (L)		**^y	NS
Nitrate (N)		**	NS
Line × Nitrate (L × N)		**	*

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

x DAP stands for days after pollination.

w Seeds were stored for eight months after harvesting, and incubated at 25°C

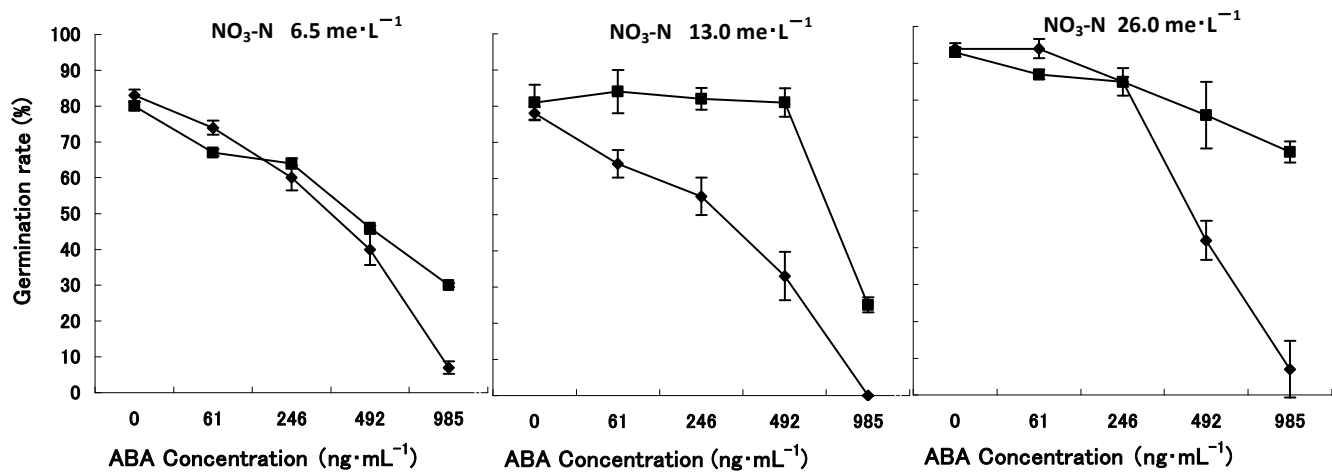


Fig. 1. Germination rates of melon seeds grown under three different $\text{NO}_3\text{-N}$ fertilizations when exposed to five different ABA concentrations. S-VS -■-, R-VS -◆-.

第 2 章 メロンの果実内発芽と内生アブシジン酸含量に及ぼすカリウム施用の影響

緒 言

前章では，硝酸態窒素施肥条件を変えてメロンの採種栽培試験を行い，硝酸態窒素の増施により胎座部周辺果汁中のアブシジン酸（ABA）濃度が低下し，果実内発芽が増加することを報告した．

果実内発芽と施肥条件について，窒素以外にカリウムとの関連が示唆されており，ハクサイ（岩田・江口，1958），ピーマン（Harrington，1960；Marrushら，1998）およびトマト（Dos Santos・Yamaguchi，1979）においてカリウム施肥量の減少により果実内発芽が発生するとの報告がみられる．

施肥量とABAの関係については，ピーマンにおいてカリウム濃度の低下により種子中のABA含量が減少し，果実内発芽が増加すること（Dos Santos・Yamaguchi，1979）が報告されている．しかし，メロンなどの漿果を用い，胎座部周辺の果汁中のABA含量と果実内発芽の関

連を調査した報告はみられない。

そこで，本章では，果実内発芽に対する感受性の異なるメロン3系統を用い，カリウム施肥量が異なる条件で採種栽培を行い，採種量，種子品質ならびに内生ABA含量について調査した。

材料および方法

試験 2.

1. 供試植物と試験区

供試植物は，第1章の試験1に記載した（財）日本園芸生産研究所保有の果実内発芽し易い系統‘S・VS’と果実内発芽し難い系統‘R・VS’を母系として用いた他，果実内発芽し易い系統として‘S・VS・KY’（台湾農友種苗）も供試した。

栽培試験は，養液栽培で行い，培養液に山崎メロン処方を用いた。交配開始期から培養液のK濃度のみを変え，標準濃度区（ $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ），70%濃度区（ $4.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）および40%濃度区（ $2.4 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）の3水準で処理を行った。70%濃度区と40%濃度区のK濃度の調節は，山崎メ

ロン処方 の KNO_3 を削減し NaN_3 で代替することにより行った。

2. 耕種概要

2008年3月24日に培養土を充填した育苗箱に播種し、3月31日に10.5 cmポットに鉢上げし29日間育苗した後、4月22日に本葉3枚の苗をピートモス：バーミキュライト（7:3）の培地を充填した15 L容のポリ袋に1株ずつ植え、硬質プラスチックハウス（8 m×30 m）内に30 cm間隔で設置した。定植株数は、各処理区16株2反復計32株とした（‘S・VS・KY’は、提供された種子数の関係で各処理区8株2反復計16株）。

交配は、5月25～28日の間に行い、父系として当所育成の系統Aを用い、上記3系統の母系に午前10時頃までに交配した。

培養液の給液は、圧力補正付きドリッパー（吐出量 $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \times 4$ 個、4枝マニフォールド間隔30 cm、ネタフィルムジャパン）で点滴灌液した。定植から交配前日までは、すべての処理区において標準濃度の培養液を与え、交配開始日から供試3系統のそれぞれを上記3水準のK

濃度で20日間灌液した。

整枝法は、慣行の1本仕立て栽培とし、親づるの11～15節の子づるに2果着果させた。

収穫は、種子成熟過程の交配後35日と種子完熟期の50日の2回行った（‘S・VS・KY’については、50日収穫のみとした）。

3. 調査方法

第1章の試験1に準じてサンプリングし下記の項目について調査した。

1) 果実内発芽率調査

種皮が割れて幼根または子葉が見える種子を果実内発芽とし、採種粒数に対する割合を調査した。

2) 発芽試験

国際種子検査規定（ISTA）に準じ、濾紙を2枚敷いた12cmシャーレ内に種子を50粒置床し8mlの蒸留水を灌水後、25℃で7日間インキュベートし発芽率を調査した。

3) 異なるABA濃度の水溶液を用いた発芽試験

異なるカリウム施用条件で採種した‘S・VS’、‘S・VS・KY’および‘R・VS’を供試し、Abscisic acid（98%、Aldrich）を溶解したABA水溶液（0、61、246、492

および $985 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$) を用い, ISTA の方法に従い発芽率を調査した.

4) ABA 分析

種子・胎座部果汁中の ABA 分析は, -80°C に凍結保存したサンプルを用いた. Arenas-Huerta (2000) の方法に準じ, 種子 100 mg 程度を液体窒素で凍結粉砕し, 抽出用メタノール (10 mM HCl , $1\% [\text{w/v}]$ ポリビニルピロリドン) 2 ml を用い 4°C 条件下で 12 時間振とう抽出した. 抽出液を中和後, 遠心分離した上澄み液を用い Phytodetek-ABAKIT (Agdia Inc.) により遊離型 *cis*-ABA を定量した.

5) 葉色分析

葉色は, 第 1 章と同様, 交配終了後 4 週目に第 8~10 節の葉について葉緑素計 (ミノルタ, SPAD-502) で測定し SPAD 値で表示した.

6) 葉柄中のカリウムイオン濃度分析

カリウムイオン濃度は, 交配終了後 2 週目に第 18 節の葉柄を葉身とともに採取し, 葉柄のみを 1 g 秤量し乳鉢で破砕し, 小型反射式光度計 (Merch, RQflex10) に

より測定した。

結 果

1. カリウム施用が生育ならびに種子収量に及ぼす影響

地上部生体重は、すべての系統においてカリウム (K) 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられた。果重は、‘S・VS・KY’の K 濃度 2.4 me 区において減少したが、‘S・VS’および‘R・VS’においては K 濃度の影響はみられなかった。1 果当たりの種子数は、交配後 35 日収穫では、K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられた。交配後 50 日収穫においても、‘S・VS’および‘S・VS・KY’の種子数は、K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられたが、‘R・VS’では、カリウム処理による有意な差はみられなかった。千粒重は、35 日収穫区の‘R・VS’において K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられたが、50 日収穫の‘S・VS・KY’において増加する傾向がみられた。葉色は、

K 濃度の低下に伴い低下した（第 2-1 表）。

2. 果実内発芽の難易度の異なる系統間の葉柄汁液中ならびに胎座部周辺果汁中の K⁺濃度の差異

葉柄汁液中の K⁺濃度は，K 濃度の低下に伴い低下した。また，‘S・VS’ および ‘S・VS・KY’ よりも ‘R・VS’ の方が葉柄汁液中の K⁺が高濃度であった。胎座部周辺果汁中の K⁺濃度も K 濃度の低下に伴い低下し，また，‘S・VS’ および ‘S・VS・KY’ よりも ‘R・VS’ の方が胎座部周辺果汁中の K⁺が高濃度であった（第 2-2 表）。

3. 果実内発芽と胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含量の関係

果実内発芽は，35 日収穫では，殆どみられなかったが，50 日収穫の ‘S・VS’ および ‘S・VS・KY’ において K 濃度の低下に伴い果実内発芽率が増加する傾向がみられた。‘R・VS’ においては，すべての K 濃度区において果実内発芽が殆どみられなかった。胎座部周辺果汁中の ABA 含量は，35 日収穫において K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられ，‘R・VS’ より ‘S・VS’ で含量が少なかった。50 日収穫においても，K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられたが，‘R・VS’ よりも ‘S・VS・KY’ で含量が多

かった。種子中の ABA 含量は、35 日収穫において K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられた。50 日収穫では、‘S・VS・KY’において K 濃度の低下に伴い減少する傾向がみられたが、‘S・VS’および‘R・VS’においては一定の傾向がみられなかった。種子中の ABA 含量は、胎座部周辺果汁中の含量よりも少なかった（第 2-3 表）。

4. 種子発芽率

発芽率は、35 日収穫の‘S・VS’、50 日収穫の‘S・VS・KY’において K 濃度の低下に伴い増加する傾向がみられた（第 2-4 表）。

5. 異なる ABA 濃度の水溶液を用いた発芽試験

‘R・VS’は、すべての K 濃度区の種子において、水溶液の ABA 濃度が高くなるほど発芽率が減少する傾向がみられた。一方、‘S・VS’および‘S・VS・KY’の発芽率は、‘R・VS’に比べ ABA 濃度による発芽率の減少がわずかであった。（第 2-1 図）。

考 察

1. カリウム施肥量が種子収量に及ぼす影響

岩田・江口(1958)は、花芽分化期以降のカリウム欠乏によりハクサイの採種量が著しく減少すると報告している。本試験においても果実内発芽し易い2系統で、交配期以降のカリウム施肥量の減少に伴い種子完熟期の種子収量が減少する結果となった。一方で、果実内発芽し難い系統の種子完熟期の種子収量は、カリウム施肥量による影響を受けなかった。また、果実内発芽し易い系統より果実内発芽し難い系統の方が葉柄汁液中ならびに胎座部果汁中の K^+ 濃度が高濃度であったことから、果実内発芽し難い系統は、カリウムの吸収量が多く、そのため種子完熟期の種子数が、カリウム濃度による影響を受けなかったと推察された。

2. カリウム施肥量が果実内発芽と ABA 含量に及ぼす影響

カリウム施肥量の減少により果実内発芽が増加する現象は、複数の作物で報告されている(Dos Santos・Yamaguchi, 1979; Harrington, 1960; 岩田・江口, 1958; Marrushら, 1998)。メロンを用いた本試験においてもカリウム施肥量の減少に伴い、果実内発芽し易い系統の果実内発芽率が増加した。

試験年度が異なるので一概には比較できないが，硝酸態窒素施肥量を変えた前報よりも‘S・VS’における果実内発芽率が高かったことから，硝酸態窒素よりもカリウムの方が，果実内発芽への影響力が強い可能性もあると考えられた。

Marrushら（1998）は，乾果であるピーマンを用いた試験において，カリウム施肥量の低下に伴い，種子中のABA含量が低下することが，果実内発芽が増加する一因であると報告している。漿果であるメロンを用いた本試験では，カリウム施肥量と種子中のABA含量に一定の傾向はみられなかったが，カリウム濃度の低下に伴い，胎座部周辺果汁中のABA含量が減少する結果となった。このことから漿果においては，胎座部周辺の果汁中のABA含量の低下が，果実内発芽発生の一因と考えられた。一方，カリウムが，ABAなどの植物ホルモンの生合成や代謝に及ぼす機作は未だ解明されていない。Benlloch-Gonzálezら（2010）は，ヒマワリを用いた試験において，カリウム欠乏によりエチレン生成量が増加し，ABAとエチレンの拮抗作用により気孔の閉鎖が阻害されると報告している。本試験のカリウム施肥量の減少に伴う

ABA 含量の低下にエチレンの生合成が関与している可能性があることも考えられる。

3. 果実内発芽と葉柄汁液中ならびに胎座部果汁中の K^+ 濃度の関係

本試験では，Dos Santos・Yamaguchi（1979）や Marrush ら（1998）の試験同様，交配開始日からカリウム処理を開始し，果実内発芽の発生に違いがみられた。このことから種子形成期の栄養状態により果実内発芽が助長されると考えられる。また，本試験の葉柄汁液中の K^+ 濃度と果実内発芽の発生に関係性が認められることから，硝酸態窒素と同様に，交配期以降に小型反射式光度計を使用したリアルタイム栄養診断技術（田中，2003）を利用し，果実内発芽を軽減できる可能性があるとして示唆された。また，果実内発芽し易い系統より果実内発芽し難い系統の方が葉柄汁液中・胎座部果汁中の K^+ 濃度が高濃度であったことから，果実内発芽し難い系統は，カリウムの吸収量が多く，そのため ABA 含量が多くなり果実内発芽し難い可能性があると考えられる。

4. 果実内発芽と ABA 含量ならびに ABA 濃度閾値の系統間差異の関係

ABA 含量と果実内発芽の系統間差異の関係は，‘S・VS’ および ‘R・VS’ については，果実内発芽し易い系統より果実内発芽し難い系統の方が胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含量が高い結果となったが，‘S・VS・KY’ と比較するとその関係性は異なる．Welbaum(1999)は，メロンの ‘Top Mark’ において，交配後 35 日で種子の乾物重が上限に達し，50～55 日で種子品質が最高になったと報告している．本試験の収穫日は，それに基づいて設定した．しかし，‘S・VS・KY’ は想定していたよりも熟期が早く，50 日では過熟になっており，その後の追熟により胎座部果汁の減少と種子の乾燥がみられた．メロン果実内の ABA 含量は，種子の成熟過程でピークを迎え，その後減少し (Welbaum ら，2000)，採種調整後，乾燥することで再び種子内の ABA 含量が増加する．‘S・VS・KY’ の種子の ABA 含量が他の 2 系統よりも高かった理由は，種子の乾燥による ABA 含量の増加の可能性もあることも考えられる．

一方，ABA に対する感受性の系統間差異は，本試験の

異なる ABA 濃度の水溶液を用いた発芽試験により明確な関係性が示された。つまり果実内発芽し易い系統より果実内発芽し難い系統の方が ABA による発芽抑制効果が高いという関係である。この関係は、本試験の全てのカリウム処理区から採種した種子について同様であった。コムギの穂発芽抵抗性品種と穂発芽感受性品種においても同様の関係が報告され (Walker-Simmons, 1987) ている。このことから、果実内発芽し難い系統は、ABA の発芽抑制作用を受ける濃度閾値が低いことにより果実内発芽し難い可能性があると考えられた。

本章の結果より、メロンにおける果実内発芽の発生は、カリウム施肥量の減少に伴い胎座部周辺果汁中の ABA 含量が減少することが一因であると考えられた。

ABA 含量と果実内発芽の系統間差異の関係については、不明確であったが、果実内発芽し難い系統のカリウムの吸収量が多いことが、果実内発芽の抑制に影響している可能性があると考えられる。また、果実内発芽し難い系統は、ABA の発芽抑制作用を受ける濃度閾値が低いことにより果実内発芽し難いと考えられた。

摘 要

果実内発芽し難い 1 系統と果実内発芽し易い 2 系統を供試材料とし，果実内発芽と内生アブシジン酸含量の関係を明らかにするために，カリウム濃度の異なる 3 種の培養液（2.4，4.2，6.0 me・L⁻¹）で栽培した．その結果，果実内発芽し易い系統では，カリウム濃度の低下により 1 果当たりの種子数が明らかに減少した．しかし，果実内発芽し難い系統では，カリウム濃度は種子収量に影響を与えなかった．葉柄ならびに胎座部周辺の果汁中のカリウムイオン濃度は，果実内発芽し易い系統より果実内発芽し難い系統で高かった．果実内発芽はカリウム施肥量の減少に伴い，果実内発芽し易い系統で増加したが，果実内発芽し難い系統では，いずれのカリウム濃度でも果実内発芽は認められなかった．胎座部周辺の果汁中の ABA 含量はカリウム施肥量の減少に伴い減少した．ABA 濃度が異なる水溶液を用い，種子の発芽試験を行ったところ，果実内発芽し難い品種では ABA 濃度の増加に伴い種子の発芽が著しく抑制された．以上の結果から，カリウム施肥量の減少により胎座部周辺の果汁中の ABA 含

量が減少し、その結果として果実内発芽が増加すること、
また、果実内発芽し難い系統は、低い ABA 濃度閾値で種
子の発芽抑制があらわれるものと推察された。

Table 2-1. Plant and fruit weight, number of seeds per fruit, weight of 1,000 seeds, leaf color as affected by potassium fertilization.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Plant weight (g)	Fruit weight (g)	Number of seeds per fruit		Weight of 1,000 seeds (g)		Leaf color ^w
				35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP	
S · VS	2.4	996 b ^z	1,036 c	275.3 b	275.6 b	29.67 a	36.41 c	34.0 b
S · VS	4.2	1,058 b	1,023 c	302.7 b	320.9 a	31.10 a	35.00 c	35.9 b
S · VS	6.0(Cont.)	1,273 b	1,050 c	326.7 a	339.9 a	30.04 a	35.46 c	45.0 ab
S · VS·KY	2.4	1,240 b	1,748 b	- ^v	97.2 d	-	91.22 a	28.7 c
S · VS·KY	4.2	1,406 ab	1,933 a	-	211.8 c	-	73.13 b	31.2 bc
S · VS·KY	6.0(Cont.)	1,536 a	1,861 ab	-	209.7 c	-	62.04 b	33.1 b
R · VS	2.4	993 b	779 d	175.1 d	271.5 b	18.94 c	23.85 d	39.8 b
R · VS	4.2	900 b	718 d	180.2 d	261.7 b	21.48 bc	24.38 d	41.9 b
R · VS	6.0(Cont.)	1,043 b	782 d	248.1 c	273.7 b	23.72 b	24.81 d	54.8 a
Line (L)		**^y	**	**	**	**	**	**
Potassium (K)		**	NS	**	*	*	**	**
Line×Potassium (L×K)		NS	**	NS	NS	NS	**	**

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P<0.01,0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

x DAP stands for days after pollination.

w Values are measured by chlorophyll meter SPAD-502 (KONICA MINOLTA).

v Without data.

Table 2-2. Potassium ion concentration in petiole sap and juice around placenta grown under different potassium concentration.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	K ⁺ concentration in petiole sap (ppm)		K ⁺ concentration in juice around placenta (ppm)			
				35DAP ^x		50DAP	
S · VS	2.4	4,573	d ^z	5,353	d	5,070	cd
S · VS	4.2	4,692	d	6,050	cd	5,980	b
S · VS	6.0 (Cont.)	6,290	b	6,490	c	6,023	b
S · VS · KY	2.4	4,865	c	- ^w		4,197	d
S · VS · KY	4.2	5,522	c	-		5,537	c
S · VS · KY	6.0 (Cont.)	6,557	b	-		5,830	bc
R · VS	2.4	5,531	c	5,977	cd	5,227	c
R · VS	4.2	6,452	b	7,333	b	5,973	b
R · VS	6.0 (Cont.)	7,766	a	8,397	a	7,140	a
Line (L)		*^y		**		**	
Potassium (K)		**		**		**	
Line × Potassium (L × K)		NS		**		**	

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P < 0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

x DAP stands for days after pollination.

w Without data.

Table 2-3. Rate of sprouted seed , abscisic acid content in juice around placenta and seed as affected by potassium fertilization.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Rate of sprouted seed (%)		Abscisic acid content in juice around placenta (ng·g ⁻¹ FW)		Abscisic acid content in seed (ng·g ⁻¹ FW)	
		35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP	35DAP	50DAP
S · VS	2.4	0.25 a ^z	12.01 a	151.9 e	13.8 f	30.1 c	13.3 d
S · VS	4.2	0.10 a	11.13 a	129.2 e	23.8 e	29.9 c	10.5 d
S · VS	6.0(Cont.)	0.16 a	4.14 c	238.7 d	21.1 e	38.3 b	8.0 d
S · VS·KY	2.4	- ^w	7.54 b	-	141.6 b	-	121.4 b
S · VS·KY	4.2	-	3.94 c	-	359.8 a	-	285.2 a
S · VS·KY	6.0(Cont.)	-	2.28 c	-	387.5 a	-	270.6 a
R · VS	2.4	0.00 b	0.00 d	348.3 c	43.6 d	51.6 a	27.3 c
R · VS	4.2	0.00 b	0.02 d	437.9 b	41.2 d	52.7 a	15.3 d
R · VS	6.0(Cont.)	0.02 b	0.02 d	1171.3 a	63.0 c	67.8 a	24.9 c
Line (L)		**^y	**	**	**	**	**
Potassium (K)		NS	*	**	**	*	**
Line×Potassium (L×K)		NS	NS	**	**	NS	**

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

^x DAP stands for days after pollination.

^w Without data.

Table 2-4. Germination rate as affected by potassium fertilization.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Germination rate (%) ^w			
		35DAP ^x		50DAP	
S · VS	2.4	88.3	a ^z	98.8	a
S · VS	4.2	81.0	b	99.2	a
S · VS	6.0 (Cont.)	80.3	b	99.8	a
S · VS · KY	2.4	- ^v		90.3	b
S · VS · KY	4.2	-		85.7	b
S · VS · KY	6.0 (Cont.)	-		83.0	c
R · VS	2.4	92.7	a	98.2	a
R · VS	4.2	91.3	a	98.8	a
R · VS	6.0 (Cont.)	89.7	a	98.6	a
Line (L)		**^y		**	
Potassium (K)		*		*	
Line × Potassium (L × K)		NS		NS	

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 3-way ANOVA.

^x DAP stands for days after pollination.

^w Seeds were stored for eight month after harvesting, and incubated at 25°C

^v Without data.

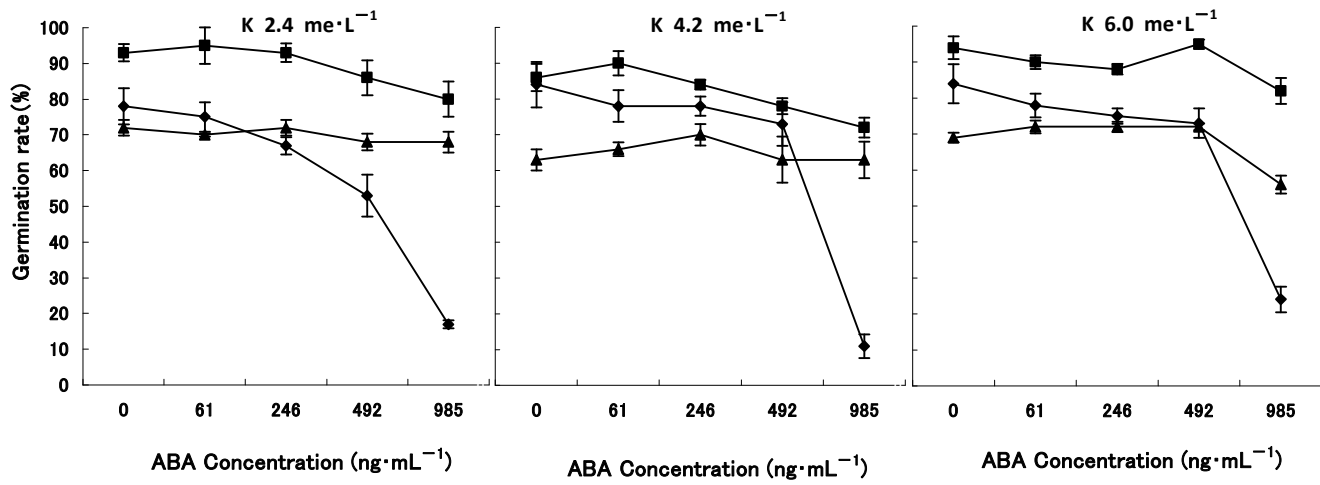


Fig. 1. Germination rates of melon seeds grown under three different K fertilizations when exposed to five different ABA concentrations. S-VS -■-, S-VS-KY -▲-, R-VS -◆-

第 3 章 高カリウム施用によるメロン種子の果実内発芽の抑制

緒 言

第 1 章・第 2 章の結果から，高硝酸態窒素条件下または低カリウム条件下では胎座部周辺果汁中のアブシジン酸濃度が低下し，果実内発芽が増加すると考えられた．また，高窒素条件よりも低カリウム条件の方がより果実内発芽への影響力が強い可能性があることが示唆され，カリウムを適量に保つことが果実内発芽の抑制に有効であると考えられた．一方，前章において最も高いカリウム濃度 $6 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ では果実内発芽の発生がみられたことから，果実内発芽の抑制に最適な濃度は，より高濃度である可能性があると考えられた．Marrushら（1998）の試験においてもカリウム濃度 $6 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ では，ピーマンの果実内発芽を完全に抑制できなかったことを報告している．そこで本試験では前章で行った濃度より高いカリウム処理が果実内発芽の抑制に及ぼす影響について調査した．

田中ら（1977）は，カリウム濃度 $20\text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ でキュウリの生育が著しく低下すると報告しており，同じウリ科のメロンでも高カリウム濃度処理により生育抑制や種子収量・品質の低下懸念される。

本章では，高カリウム施肥がメロンの種子収量や種子品質を低下させずに果実内発芽を抑制し得るかを検討した。

材料および方法

試験 3.

1. 供試植物と試験区

供試植物は，第2章の試験2と同様，（財）日本園芸生産研究所保有の果実内発芽し易い系統‘S・VS’と果実内発芽し難い系統‘R・VS’の他，果実内発芽し易い系統として‘S・VS・KY’（台湾農友種苗）を母系として供試した。

栽培試験は，養液栽培で行い，培養液に山崎メロン処方を用いた。交配開始期から培養液のK濃度のみを変え，標準濃度区（ $6.0\text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ），200%濃度区（ $12.0\text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）の2水準で処理を行った。200%濃度区のK濃度の調節は，

山崎メロン処方 に K_2SO_4 を添加することにより行った。

2. 耕種概要

2011年3月29日に培養土を充填した育苗箱に播種し、4月5日に10.5 cmポットに鉢上げし30日間育苗した後、4月22日に本葉3枚の苗をピートモス：バーミキュライト（7：3）の培地を充填した15 L容のポリ袋に1株ずつ植え、硬質プラスチックハウス（8 m×30 m）内に30 cm間隔で設置した。定植株数は、各処理区16株2反復計32株とした。

交配は、5月25～28日の間に行い、父系として当所育成の系統Aを用い、上記3系統の母株に午前10時頃までに交配した。

培養液の給液は、圧力補正付きドリッパー（吐出量 $2 L \cdot h^{-1} \times 4$ 個、4枝マニフォールド間隔30 cm、ネタフィルムジャパン）で点滴灌液した。定植から交配前日までは、すべての処理区において標準濃度の培養液を与え、交配開始日から供試3系統のそれぞれを上記2水準のK濃度で20日間灌液し、その後収穫まで処理濃度を漸減した。

整枝法は、慣行の 1 本仕立て栽培とし、親づるの 11 ~ 15 節の子づるに 2 果着果させた。

収穫は、種子成熟過程の交配後 35 日と種子完熟期の 50 日の 2 回行った。

3. 調査方法

第 1 章の試験 1 に準じてサンプリングし下記の項目について調査した。

1) 果実内発芽率調査

種皮が割れて幼根または子葉が見える種子を果実内発芽とし、採種粒数に対する割合を調査した。

2) 発芽試験

国際種子検査規定 (ISTA) に準じ、濾紙を 2 枚敷いた 12cm シャーレ内に種子を 50 粒置床し 8ml の蒸留水を灌水後、25℃ で 7 日間インキュベートし発芽率を調査した。

3) Brix 値の測定

収穫後 50 日、追熟後 2 週目の果実について可溶性固形物濃度を屈折糖度計 (アタゴ) を用いて測定した。

4) ABA 分析

種子・胎座部果汁中の ABA 分析は、-80℃ に凍結保存したサンプルを用いた。Arenas - Huerto (2000) の方

法に準じ，種子 100 mg 程度を液体窒素で凍結粉碎し，抽出用メタノール（10 mM HCl, 1% [w/v] ポリビニルピロリドン）2 ml を用い 4°C 条件下で 12 時間振とう抽出した．抽出液を中和後，遠心分離した上澄み液を用い Phytodetek - ABAkit（Agdia Inc.）により遊離型 *cis*-ABA を定量した．

5) 果汁中の無機イオン濃度分析

無機イオン (NO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 濃度は，収穫後 50 日の果実について小型反射式光度計（Merch, RQflex10）により測定した．

結 果

1. 高カリウム施肥が果実ならびに種子収量に及ぼす影響

果重は，‘S・VS’の K 濃度 12.0 me 区において減少したが，‘S・VS・KY’および‘R・VS’においては K 処理による有意な差はみられなかった．Brix は，全ての系統について高 K 濃度区で有意に増加する傾向がみられた．1 果当たりの種子数は，カリウム処理による有意な差はみ

られなかった。千粒重は，‘S・VS・KY’において高 K 濃度区で有意に減少したが，‘S・VS’および‘R・VS’では K 濃度の影響はみられなかった。（第 3-1 表）。

2. 果実内発芽の難易度の異なる系統間における胎座部周辺果汁中の無機イオン濃度の差異

胎座部周辺果汁中の NO_3^- 濃度は，全ての系統において高 K 濃度区で高い傾向を示した。K⁺濃度は，高カリウム施肥により有意に増加し，また，果実内発芽し易い系統よりも果実内発芽し難い系統で K⁺濃度は有意に高い傾向を示した。Ca²⁺濃度は高 K 濃度区で減少する傾向であったが，Mg²⁺は，K 処理による有意な影響はみられなかった（第 3-2 表）。

3. 果実内発芽と胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含量の関係

果実内発芽は，50 日収穫の‘S・VS’および‘S・VS・KY’において高 K 施肥により果実内発芽率が有意に減少した。‘R・VS’については，両 K 処理区で果実内発芽が殆どみられなかった。胎座部周辺果汁中の ABA 含量は，35 日および 50 日収穫において高 K 施肥により増加する傾向がみられた。また，35 日収穫では‘S・VS’・‘S・VS・

KY' よりも 'R・VS' で含量が多かった。種子中の ABA 含量は、一定の傾向がみられなかったが、'R・VS' の標準カリウム区で 35 日から 50 日の間に著しい ABA 含量の低下がみられた（第 3-3 表）。

4. 種子発芽率

発芽率は、35 日収穫の 'R・VS' で高 K 施肥により有意に減少する傾向であったが、'S・VS'・'S・VS・KY' では K 施肥による有意な差はみられなかった。50 日収穫の 'S・VS' では、高 K 施肥により発芽率が有意に増加したが、'S・VS・KY'・'R・VS' では K 処理による有意な差はなかった（第 3-4 表）。

考 察

第 2 章における最も高いカリウム濃度 $6\text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$ では、メロンの果実内発芽の発生がみられた。Marrush ら（1998）も、同様のカリウム濃度でピーマンの果実内発芽がみられたことを報告している。一方、田中ら（1977）は、カリウム濃度 $20\text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$ でキュウリの生育が著しく低下すると報告しており、高濃度カリウム施肥は、同

じウリ科のメロンにおいても生育抑制や種子収量・品質の低下を招く可能性があるかと懸念された。しかし、本試験で設定したカリウム濃度 $12 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ では、種子収量や種子品質に影響を及ぼすことなく、メロンの果実内発芽を抑制することができた。このことから種子形成期である交配期以降にカリウムを追肥することは、メロンの果実内発芽の抑制に有効であると考えられた。

果実内発芽し難い系統‘R・VS’の種子中のABA含量がカリウム標準区において35日から50日の間に著しく低下した理由は不明であるが、種子中のABA含量が低いにも関わらず‘R・VS’に果実内発芽はみられなかった。このことから‘R・VS’における果実内発芽の抑制は、胎座部周辺果汁中のABA含量が高いことが一因であると結論付けられるかも知れない。また、果実内発芽し易い系統‘S・VS’は種子中のABA含量が50日収穫区において比較的高かったが、果汁中のABA含量は他の系統よりも低く、果実内発芽の発生がみられた。この事実も胎座部周辺果汁中のABA含量が果実内発芽の抑制に重要な役割を果たしていることを示している。

一方、‘S・VS・KY’は胎座部周辺果汁中のABA含量が

比較的高かったが，果実内発芽が発生した．このことは‘S・VS・KY’における果実内発芽の抑制がより高い濃度閾値で起こる可能性があることを示唆している．また，‘S・VS・KY’は果実肥大が他の系統より早かったことから種子の成熟も早く，結果として果実内発芽が多くなった可能性もあると考えられる．

胎座部周辺果汁中の K^+ 濃度が，果実内発芽し易い系統よりも果実内発芽し難い系統で有意に高かったことは果実内発芽の抑制と無関係ではないかも知れない．カリウムは，細胞液中の浸透圧を調節する働きがあり，それに伴う気孔の開閉や根圧の調節によって体内水分を調整している（Benlloch -González, 2010）．高 K^+ 濃度により胎座部周辺の果汁の浸透圧が高くなり，種子が水分を吸収し難い，生理的乾燥状態が引き起こされている可能性もある．

本試験の第2章，第3章とMarrushら（1998）の結果から植物体内のカリウム濃度とABA含量には密接な関係があると考えられるが，カリウムがABAの生合成を促進するメカニズムについては，未だ説明されていない．Cera（2006）は，一価の陽イオンである K^+ が必

要不可欠である「 K^+ 活性型 Type I 酵素」が存在すると報告している。ネオキサンチン酸化開裂酵素 (NCED) など ABA の生合成に関わる酵素の中に K^+ 活性型 Type I 酵素が存在すれば高カリウム施肥と ABA 含量増加の機作を解明できる可能性がある。

第 2 章において ' $S \cdot VS \cdot KY$ ' の ABA 含量が他の系統より著しく高い結果となったが、本章の結果では ' $S \cdot VS$ ' および ' $R \cdot VS$ ' の含量との差は小さくなった。このことについての考察は、第 5 章の総合考察で述べる。本章の結果からは、果実内発芽し易い系統 ' $S \cdot VS$ ' ・ ' $S \cdot VS \cdot KY$ ' より果実内発芽し難い系統 ' $R \cdot VS$ ' の方が胎座部周辺果汁中の ABA 含量が高い結果となり、ABA 含量の系統間差が果実内発芽の難易度に関係すると考えられた。しかし一方で ' $S \cdot VS$ ' と ' $S \cdot VS \cdot KY$ ' の胎座部周辺果汁中 ABA 含量に大きな差がみられたことから、果実内発芽の抑制が起こる ABA 濃度閾値が系統によって大きく異なる可能性があるとして唆された。

摘 要

本試験は高カリウム施肥がメロンの果実内発芽に及ぼす影響を解明する為に行った。果実内発芽し易い系統2系と果実内発芽し難い系統1系を、高濃度条件 ($12.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) を含む2水準のカリウム条件下で栽培した。高カリウム濃度条件下で栽培した場合、果実内発芽し易い2系統とも、胎座部周辺果汁中のABA含量が増加し果実内発芽が有意に抑制された。高カリウム施肥による1果当たりの種子数、種子重、種子の発芽率への影響は認められなかった。このことから、交配期からの高カリウム施肥は、メロン採種栽培において種子収量や種子品質を損なうことなく果実内発芽を抑制できる栽培技術であると考えられた。

Table 3-1. Effect of high potassium fertilization level on the yield of fruits and seeds .

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Fruit weight (g)	Brix (%)	Number of seeds per fruit		Weight of 1,000 seeds (g)	
				35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP
S · VS	6.0 (Cont.)	1016 ab ^z	10.85 b	294 a	340 a	27.7 c	35.2 c
S · VS	12.0 (High)	922 b	11.55 ab	285 a	336 a	29.2 c	35.3 c
S · VS · KY	6.0	1772 a	8.45 c	172 c	203 c	60.3 a	64.7 a
S · VS · KY	12.0	1826 a	10.05 b	168 c	193 c	52.9 b	54.9 b
R · VS	6.0	759 c	11.00 b	203 b	283 b	20.9 d	24.3 d
R · VS	12.0	772 c	12.40 a	187 b	277 b	20.1 d	23.8 d
Line (L)		** ^y	**	**	**	**	**
Potassium (K)		NS	**	NS	NS	*	*
(L × K)		*	**	NS	NS	**	**

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

^x DAP: days after pollination.

Table 3-2. Effect of high potassium fertilization level on mineral element concentrations in juice samples around the placenta^x

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Mineral element concentrations (mg·L ⁻¹)			
		NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
S · VS	6.0 (Cont.)	9.8 b ^z	4769 d	12.3 b	26.3 a
S · VS	12.0 (High)	12.3 a	5900 bc	10.7 b	25.7 a
S · VS · KY	6.0	4.8 cd	4295 d	19.4 a	25.3 a
S · VS · KY	12.0	7.5 c	5393 c	10.2 b	20.8 b
R · VS	6.0	2.4 d	6350 b	17.3 a	11.8 c
R · VS	12.0	3.8 d	7940 a	7.8 c	11.3 c
Line (L)		** ^y	**	**	**
Potassium (K)		**	**	**	NS
(L × K)		NS	NS	NS	NS

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

^x Data of the fruits harvested at 50 days after pollination

Table 3-3. Effect of high potassium fertilization level on the percentage of viviparous sprouting, abscisic acid content in juice samples around the placenta and in seeds.

Line	Potassium concentration (mmol·L ⁻¹)	Percentage of viviparous sprouting (%)		Abscisic acid content in juice samples around the placenta (ng·g ⁻¹ FW)		Abscisic acid content in seeds (ng·g ⁻¹ FW)	
		35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP	35DAP	50DAP
S · VS	6.0 (Cont.)	0.28 a ^z	3.67 a	199 e	44 e	42.7 c	22.7 ab
S · VS	12.0 (High)	0.10 a	1.81 b	273 d	96 d	50.2 bc	32.7 ab
S · VS · KY	6.0	0.12 a	2.00 ab	717 c	129 c	52.1 b	36.9 a
S · VS · KY	12.0	0.15 a	0.84 c	985 b	324 a	60.6 b	47.6 a
R · VS	6.0	0.00 b	0.03 d	897 b	60 e	73.9 a	7.7 b
R · VS	12.0	0.00 b	0.01 d	1297 a	197 b	57.3 b	24.0 ab
Line (L)		**^y	**	**	**	**	**
Potassium (K)		NS	**	**	**	*	NS
(L×K)		NS	NS	**	**	NS	NS

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

^x DAP: days after pollination.

Table 3-4. Effect of high potassium fertilization level on the percentage of seed germination.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Percentage of seed germination ^w (%)	
		35DAP ^x	50DAP
S · VS	6.0 (Cont.)	85.0 b ^z	90.5 b
S · VS	12.0 (High)	92.0 b	95.0 a
S · VS · KY	6.0	94.0 ab	97.1 a
S · VS · KY	12.0	97.0 a	95.3 a
R · VS	6.0	88.0 b	95.5 a
R · VS	12.0	80.7 c	92.3 a
Line (L)		**^y	**
Potassium (K)		NS	NS
(L × K)		NS	NS

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

x DAP: days after pollination.

w Seeds used for germination test were stored for 6 months after harvest

第 4 章 外生アブシジン酸処理によるメロン種子の果実内発芽の抑制

緒 言

第 2 章・第 3 章の結果から，果実内発芽は低カリウム条件下で胎座部周辺果汁中の ABA 含量が低下することにより引き起こされること，また，カリウム濃度 $12.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ で種子収量を損なわずに果実内発芽を抑制できることが示唆された．

しかし，砂質土壌など陽イオン交換容量（CEC）が低い土壌では K^+ が溶脱しやすく，高カリウム施肥で果実内発芽を抑制できない可能性があることも考えられる．

一方で，外生 ABA 処理がキュウリ植物体中の ABA 含量を高め，高温条件下でのカリウム吸収量を増加させる（Du and Tachibana, 1995）との報告がみられる．禿ら（1992）は，メロン果実への外生 ABA 処理が，果重と糖度を増加させると報告している．高糖度は，果汁の高浸透圧につながり果実内発芽を抑制する可能性があることが示唆されている（Welbaum, 1999）．これらのことから，

外生 ABA 処理は，植物体内の ABA 濃度を高めるだけでなく，果実の糖度を高める，カリウムの吸収を促進するなど，果実内発芽を抑制する多くの条件を引き起こす可能性があることが考えられる．

そこで本章では，低カリウム施肥下においても外生 ABA 処理が果実内発芽を抑制し得るか検討した．

材料および方法

試験 4

1. 供試植物と試験区

供試植物は，第 1 章から第 3 章まで共通して用いている（財）日本園芸生産研究所保有の果実内発芽し易い系統‘S・VS’を母系として供試した．

栽培試験は，試験 1 と同様，養液栽培で行い，培養液に山崎メロン処方を用いた．交配開始期から培養液の K 濃度のみを変え，標準濃度区（ $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ），25%濃度区（ $1.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）の 2 水準で処理を行った．25%濃度区の K 濃度の調節は，山崎メロン処方の KNO_3 を削減し K_2SO_4 で代替することにより行った．ABA 処理は，交配

後 25 日の果実に 0, 100, 300 mg・L⁻¹ の ABA 溶液を散布することにより行った。

2. 耕種概要

2011年3月29日に培養土を充填した育苗箱に播種し、4月5日に10.5 cmポットに鉢上げし30日間育苗した後、4月22日に本葉3枚の苗をピートモス：バーミキュライト（7:3）の培地を充填した15 L容のポリ袋に1株ずつ植え、硬質プラスチックハウス（8 m×30 m）内に30 cm間隔で設置した。定植株数は、各処理区16株2反復計32株とした。

交配は、5月25～28日の間に行い、父系として当所育成の系統Aを用い、上記3系統の母株に午前10時頃までに交配した。

培養液の給液は、圧力補正付きドリッパー（吐出量 2 L・h⁻¹×4個、4枝マニフォールド間隔30 cm、ネタフィルムジャパン）で点滴灌液した。定植から交配前日までは、すべての処理区において標準濃度の培養液を与え、交配開始日から供試3系統のそれぞれを上記2水準のK濃度で20日間灌液し、その後収穫まで処理濃度を漸減した。

整枝法は、慣行の 1 本仕立て栽培とし、親づるの 11 ~ 15 節の子づるに 2 果着果させた。

収穫は、種子成熟過程の交配後 35 日と種子完熟期の 50 日の 2 回行った。

1. 調査方法

第 1 章に準じてサンプリングし下記の項目について調査した。

1) 果実内発芽率調査

種皮が割れて幼根または子葉が見える種子を果実内発芽とし、採種粒数に対する割合を調査した。

2) 発芽試験

国際種子検査規定 (ISTA) に準じ、濾紙を 2 枚敷いた 12 cm シャーレ内に種子を 50 粒置床し 8 ml の蒸留水を灌水後、25℃で 7 日間インキュベートし発芽率を調査した。

3) Brix 値の測定

収穫後 50 日、追熟後 2 週目の果実について可溶性固形物濃度を屈折糖度計 (アタゴ) を用いて測定した。

4) ABA 分析

種子・胎座部果汁中の ABA 分析は、-80℃に凍結保存したサンプルを用いた。Arenas - Huerto (2000) の方

法に準じ，種子 100 mg 程度を液体窒素で凍結粉碎し，抽出用メタノール（10 mM HCl, 1% [w/v] ポリビニルピロリドン）2 ml を用い 4°C 条件下で 12 時間振とう抽出した．抽出液を中和後，遠心分離した上澄み液を用い Phytodetek - ABAkit（Agdia Inc.）により遊離型 *cis*-ABA を定量した．

5) 果汁中の無機イオン濃度分析

無機イオン (NO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 濃度は，収穫後 50 日の果実について小型反射式光度計（Merch, RQflex10）により測定した．

結 果

1. ABA 処理が果実ならびに種子収量に及ぼす影響

ABA 処理濃度の増加に伴い，果重が有意に増加する傾向がみられた．Brix 値は，ABA 処理濃度の増加に伴い著しく増加した．1 果あたりの種子数は，ABA 濃度が高くなるほど有意に減少したが，それと相反的に千粒重は増加した．本試験の「種子」は，比重により選別した種子をさす．果重，1 果あたりの種子数，50 日収穫の千粒重

は K 濃度 $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区よりも $1.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区で有意に減少した (第 4-1 表)。

2. 果実内発芽の難易度の異なる系統間の胎座部周辺果汁中の無機イオン濃度の差異

ABA 処理濃度が高くなるほど胎座部周辺果汁中の NO_3^- 濃度が増加した。また, K 濃度 $1.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区より $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区で NO_3^- 濃度が高い傾向であった。K⁺濃度は, ABA 処理濃度 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 区で著しく増加する傾向がみられた。Ca²⁺および Mg²⁺濃度は, ABA 処理濃度の増加に伴い減少する傾向がみられた (第 4-2 表)。

3. 果実内発芽と胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含量の関係

外生 ABA 処理濃度が高くなるほど, 50 日収穫における果実内発芽率は有意に減少した。一方, 胎座部周辺果汁中の ABA 含量は, ABA 処理濃度の増加に伴い増加した。また, K 濃度 $1.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区より $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区で ABA 含量が高かった。種子中の ABA 含量も外生 ABA 処理濃度が高くなるほど増加した。(第 4-3 表)。

4. 種子発芽率

収穫後 6 ヶ月の種子において，ABA 処理濃度の増加に伴い，35 日・50 日収穫ともに発芽率が著しく減少する傾向がみられた．収穫後 12 ヶ月の種子についても同様の傾向であったが，収穫後 6 ヶ月の種子よりも発芽率が高かった（第 4-4 表）．

考 察

果実に外生 ABA 処理をすることで果実内の ABA 含量が増加することが知られている（Kondo, 1998）．本試験においてもメロン果実への外生 ABA 処理により胎座部周辺果汁中および種子中の ABA 含量が増加した．その結果として，低カリウム施肥下においても果実内発芽が減少したと考えられる．

Du and Tachibana (1995) は，外生 ABA 処理によりキュウリ植物体中の ABA 含量が増加し高温条件下でのカリウム吸収量を増加すると報告している．本試験においても外生 ABA 処理により胎座部周辺果汁中のカリウム濃度が増加した．このことは，外生 ABA 処理が直接的に胎座部周辺果汁中および種子中の ABA 含量を増加させ

ただけでなく，カリウム吸収を促進することにより ABA の生合成を促進した可能性があることを示唆している．

また，本試験における外生 ABA 処理により果重と糖度の増加がみられた．これは禿ら（1992）の報告と一致する．Welbaum（1999）は，高糖度は果汁の高浸透圧と関係しメロン果実中の種子の発芽を抑制する一因である可能性があることを示唆しており，本試験における果実内発芽の抑制にも無関係でない可能性があると考えられる．

一方で，外生 ABA 処理は採種後 6 ヶ月経過した種子の発芽率にも著しい抑制作用を引き起こし，その影響は採種後 12 ヶ月の種子にも残る結果となった．この事実は，ABA が登熟過程の種子発芽を抑制しただけでなく，種子休眠の継続に影響を及ぼしていることを示している．

また，外生 ABA 処理により 1 果あたりの種子数の減少もみられた．本試験では，種皮のみが形成され胚の発達が不十分である種子，所謂「しいな」は比重選で除き，充実した種子のみ粒数や発芽率を調査している．種子の総数は変わらないが，未熟種子が増えた可能性もあると考えられる．Welbaum（1999）は，メロン種子の胚形成は交配後 15 日から始まり交配後 30 日目までに発芽能力

を有するまで発達すると報告している。禿ら(1992)は、交配後25日のメロン果実への外生ABA処理が、果重と糖度を増加させると報告しており、本試験の処理日も交配後25日としたが、胚の形成途中のABA処理により一部の種子の胚形成が停止した可能性があることも考えられる。そのことにより種子形成が停止した分のシンク活性が低下し、余剰同化産物が果重や糖度の増加を招いたのかも知れない。

外生ABA処理によりメロン果実中のABA含量が高くなる傾向を示したが、種子中のABA含量については処理による濃度差は少なかった。一方、胎座部周辺果汁中のABA含量は、特に35日収穫区で外生ABA処理による顕著な濃度差を示した。この結果も種子中のABA含量よりも果汁中のABA含量の方が漿果の果実内発芽の抑制に優位的に働いていることを示している。

以上の結果から外生ABA処理は、低カリウム条件下においても果汁中と種子中のABA含量を増加し果実内発芽を抑制することが明らかになった。しかし、同時に種子の発芽不良や充実種子数の減少を引き起こすため、本試験の濃度範囲では採種栽培に用いるには不適と考えら

れた。

摘 要

第 4 章において、外生 ABA の施用が低濃度カリウム施肥下で生育したメロンの果実内発芽に及ぼす影響を調査した。果実内発芽し易いメロン 1 系統を用い低濃度条件 ($1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) を含む 2 水準のカリウム条件で栽培し、交配後 25 日の果実に異なる濃度の ABA を処理した。外生 ABA 処理により、胎座部周辺果汁中ならびに種子中の ABA 含有量が増加し、低カリウム条件下においても果実内発芽が抑制された。しかし、ABA 処理は、1 果当たりの種子数と種子の発芽率を著しく低下させた。本試験の範囲内では、ABA 処理は果実内発芽の抑制に効果的であるものの、種子収量と種子品質に影響を及ぼすため採種栽培に用いる技術としては検討の余地が残る。

Table 4-1. Effect of abscisic acid treatment on the yield of fruits and seeds grown at a low potassium fertilization level.

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Abscisic acid treatment (mg·L ⁻¹)	Fruit weight (g)	Brix (%)	Number of seeds per fruit		Weight of 1,000 seeds (g)	
					35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP
					S · VS	1.5 (Low)	0	890 d ^z
S · VS	1.5	100	937 c	11.55 ab	240 b	269 c	28.7 a	31.3 c
S · VS	1.5	300	939 c	14.90 a	234 b	254 c	30.3 a	32.5 c
S · VS	6.0 (Cont.)	0	1016 b	10.55 b	317 b	340 a	27.7 a	35.2 b
S · VS	6.0	100	1105 ab	11.00 b	282 c	306 b	29.7 a	36.6 b
S · VS	6.0	300	1256 a	13.95 ab	266 c	285 b	30.7 a	38.1 a
	Potassium (K)		**^y	NS	**	**	NS	**
	ABA treatment (A)		**	**	*	**	*	*
	(K×A)		*	NS	**	**	NS	NS

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

x DAP: days after pollination.

Table 4-2. Effect of abscisic acid treatment on mineral element concentrations in juice samples around the placenta.^x

Line	Potassium concentration (me·L ⁻¹)	Abscisic acid treatment (mg·L ⁻¹)	Mineral element concentration (mg·L ⁻¹)			
			NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
S · VS	1.5 (Low)	0	9.5 c ^z	3984 d	15.2 a	23.8 b
S · VS	1.5	100	11.7 bc	3873 d	10.3 b	21.8 b
S · VS	1.5	300	13.5 b	5367 b	9.1 b	15.8 c
S · VS	6.0 (Cont.)	0	9.8 c	4769 c	12.3 b	26.3 a
S · VS	6.0	100	14.8 a	4273 c	7.2 c	21.5 b
S · VS	6.0	300	16.5 a	6291 a	7.9 c	18.9 ab
	Potassium (K)		**^y	**	**	*
	ABA treatment (A)		**	**	**	**
	(K×A)		*	NS	**	**

^z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

^y **, * and NS: significant at P<0.01, 0.05 and non-significant by 2-way ANOVA.

^x Data of the fruits harvested at 50 days after pollination

Table 4-3. Effect of abscisic acid treatment on the percentage of viviparous sprouting, abscisic acid content in juice samples around the placenta and seeds grown at a low potassium fertilization level.

Line	Potassium concentration ($\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$)	Abscisic acid treatment ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Percentage of viviparous sprouting (%)		Abscisic acid content in juice samples around the placenta ($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)		Abscisic acid content in seeds ($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	
			35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP	35DAP	50DAP
S • VS	1.5 (Low)	0	1.05 a ^z	10.57 a	99 e	76 b	40.2 b	19.7 b
S • VS	1.5	100	0.32 b	4.13 b	176 d	60 b	51.5 a	31.4 a
S • VS	1.5	300	0.22 b	1.84 c	562 b	133 ab	57.2 a	37.2 a
S • VS	6.0 (Cont.)	0	0.28 b	3.67 b	199 d	44 b	42.7 b	22.7 b
S • VS	6.0	100	0.20 b	0.95 d	324 c	109 ab	42.4 b	27.2 ab
S • VS	6.0	300	0.19 b	0.79 d	832 a	252 a	51.7 a	37.0 a
	Potassium (K)		**^y	**	**	**	**	**
	ABA treatment (A)		NS	**	**	**	*	**
	(K × A)		NS	**	**	**	NS	NS

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at $P < 0.01, 0.05$ and non-significant by 2-way ANOVA.

x DAP: days after pollination.

Table 4-4. Effect of abscisic acid treatment on germination percentage of seeds grown at a low potassium concentration.

Line	Potassium concentration ($\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$)	Abscisic acid treatment ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Percentage of seed germination ^w (%)			
			6 months		12 months	
			35DAP ^x	50DAP	35DAP	50DAP
S • VS	1.5 (Low)	0	92.7 a ^z	95.3 a	92.7 b	94.8 a
S • VS	1.5	100	88.0 ab	75.0 b	90.0 b	84.3 b
S • VS	1.5	300	83.0 b	69.0 c	83.0 c	80.7 b
S • VS	6.0 (Cont.)	0	85.0 ab	90.5 a	95.0 a	96.4 a
S • VS	6.0	100	77.0 c	83.0 b	90.6 b	85.8 b
S • VS	6.0	300	75.0 c	78.1 b	88.7 c	86.4 b
	Potassium (K)		**^y	**	NS	NS
	ABA treatment (A)		**	**	**	**
	(K × A)		**	**	NS	NS

z Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at the 5% level.

y **, * and NS: significant at $P < 0.01, 0.05$ and non-significant by 2-way ANOVA.

x DAP: days after pollination.

w Seeds used for germination test were stored for 6 or 12 months after harvest.

第 5 章 総合考察

本論文では，硝酸態窒素とカリウムの施用量，外生 ABA 処理がメロンの果実内発芽に及ぼす影響について以下の結果を得た．第 1 章では，硝酸態窒素施用量が内生 ABA 含量と果実内発芽の発生に及ぼす影響について調査し，硝酸態窒素施肥量の増加により，胎座部周辺果汁中の ABA 含量が減少し，その結果として果実内発芽が増加すること，また，果実内発芽し易い系統では果汁中の ABA 含量が低いことを解明した．第 2 章では，カリウム施用量が内生 ABA 含量と果実内発芽の発生に及ぼす影響について調査し，カリウム施肥量の減少により胎座部周辺果汁中の ABA 含量が減少し，その結果として果実内発芽が増加すること，また，果実内発芽し難い系統は，低い ABA 濃度閾値で種子の発芽抑制があらわれることを示した．第 3 章では，交配期以降の高カリウム施肥（K 濃度 $12\text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）により種子収量と種子品質を損なわず果実内発芽を抑制できることを示した．第 4 章では，果実への外生 ABA 処理により低カリウム条件下においても果実内発芽を抑制可能であることを明らかにした．

本章ではさらに各章を通じた共通点や相違点について項目ごとに総合考察を行った。

植物体内の無機成分濃度と ABA の関係

種子の休眠と発芽には ABA の他、ジベレリン (GA)・エチレン・オーキシシン・サイトカイニンなど複数の植物ホルモンが関与することが知られている (Kucera ら, 2005)。本試験では、種子の発芽抑制や休眠継続に関与する ABA と無機成分との関係に着目し調査をおこなったが、ここでは、無機成分と ABA とその他の植物ホルモンとの関係について考察する。

Salama and Wareing (1979) は、硝酸態窒素の減少によりヒマワリ葉中のサイトカイニンが減少すると報告している。また、レタスにおいてサイトカイニンは、ABA による発芽抑制作用を打破する (Bewley and Fountain, 1972) ことが示されている。一方、Daie ら (1979) は、硝酸態窒素の欠乏によりトマト葉中の ABA 含量が増加すると報告している。これらのことから、本試験における硝酸態窒素の増施による ABA 含量の減少にサイトカイニンが関与している可能性があることも考えられる。

また，Alboresiら（2005）は，硝酸態窒素がシロイヌナズナの種子の休眠打破に関与すると報告し，硝酸態窒素がABAまたはジベレリン（GA）の生合成経路に影響を与えることを示唆している．硝酸態窒素の増施によりGA生成量が増加している可能性があることも考えられる．

一方，硝酸態窒素は，硝酸イオン（ NO_3^- ）の形で植物体内に吸収され，硝酸還元酵素（nitrate reductase; NR）により亜硝酸（ NO_2 ）に還元され，さらに一酸化窒素（NO）に還元されることが知られている．また，一酸化窒素合成酵素（nitric oxide synthase; NOS）によるNOの合成も起きる（Crawford, 2006）ことが知られている．NOの施与により種子の休眠が打破され，発芽が促進されるとの報告（Bethkeら，2004, 2006; Libourelら，2006; Sarathら，2006）がみられる他，ABAによる気孔の閉鎖にNOが関与しているとの報告（Desikanら，2002）がみられることから，本試験の硝酸態窒素の増施に伴う胎座部周辺ならびに種子中のABAの減少と果実内発芽の増加には，NOが介在している可能性があると考えられる．

Marrushら(1998)はピーマンにおいて、本試験はメロンにおいて、カリウム施肥量の低下に伴い、種子中や果汁中のABA含量が低下することを示した。一方、カリウムが、ABAなどの植物ホルモンの生合成や代謝に及ぼす機作は未だ解明されていない。Cera(2006)は、一価の陽イオンである K^+ が必要不可欠である「 K^+ 活性型 Type I 酵素」が存在すると報告している。ネオキサンチン酸化開裂酵素(NCED)などABAの生合成に関わる酵素の中に K^+ 活性型 Type I 酵素が存在すれば、カリウム施用量による植物体内の K^+ の増減とABAの増減の機作を解明できる可能性がある。一方でBenlloch-Gonzálezら(2010)は、ヒマワリを用いた試験において、カリウム欠乏によりエチレン生成量が増加し、ABAとエチレンの拮抗作用により気孔の閉鎖が阻害されると報告している。本試験のカリウム施肥量の減少に伴うABA含量の低下にエチレンの生合成が関与している可能性があることも考えられる。

硝酸態窒素とカリウムの相互作用

第 1 章・第 2 章を通して，硝酸態窒素施肥量の増加またはカリウム施肥量の減少により果実内発芽が増加することが解明されたが，この 2 つの無機成分の間には相互関係がみられるのだろうか．その答えは，第 3 章・第 4 章の胎座部周辺果汁中の NO_3^- と K^+ の関係にみられる．すなわち第 3 章においては，高カリウム施肥による K^+ 濃度の増加に伴い NO_3^- 濃度が有意に増加し，第 4 章では，ABA 処理濃度が高くなるほど K^+ 濃度が増加し，それに付随するように NO_3^- 濃度が増加した．また， K 濃度 $1.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区より $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 区で NO_3^- 濃度が高い傾向もみられた．つまりカリウムの吸収量が多くなると硝酸態窒素の吸収量が多くなるという関係が 2 つの試験を通して観察された．Ruiz ら (2000) は，ピーマンにおいてカリウム施肥の増加に伴い植物体中の硝酸態窒素含量や有機体窒素含量が増加すると報告している．適量のカリウム施肥は，窒素の吸収や輸送担体 (トランスポーター) の働きを促進する (Föster and Jeschke, 1993) ほか，硝酸還元酵素 (NR) の合成や活性化に必要であり，結果

としてタンパク質の合成を促進する(Marschner, 1995)と考えられている。

本試験の第3章において高カリウム施肥により、果実内発芽が抑制されることを報告したが、カリウムの増施は、果実内発芽を助長する要因である硝酸態窒素の吸収促進も伴う。カリウムの増施だけでなく、窒素施用量とのバランスも重要である可能性があると考えられる。

果実内発芽の系統間差とABAの関係

本論文では果実内発芽し易い系統を2系統、果実内発芽し難い系統を1系統用いた。これらの系統は本論文のすべての試験において果実内発芽の難易度について系統間で有意な差がみられた。すなわち果実内発芽し難い系統では果実内発芽が殆どみられず、し易い系統では果実内発芽の発生が顕著であった。一方、ABA含量は、第1章から第3章を通して果実内発芽し易い系統‘S・VS’よりも果実内発芽し難い系統‘R・VS’の方が胎座部周辺果汁中において高い結果となった。しかし第2章における‘S・VS・KY’の50日収穫区では、果汁中・種子中のABA含量は他の2系統と比較して著しく高い値であった。こ

れは，‘S・VS・KY’は想定していたよりも熟期が早く，50日では離層が出来，触れるだけで落下するほど過熟になっており，その後の追熟により腐敗，胎座部果汁の減少などがみられた．第3章で用いた‘S・VS・KY’は第2章で用いた系統の中から離層の形成の比較的遅い系統を選び1世代進めた系統であり，過熟はみられなかった．第3章における35日収穫の胎座部周辺果汁中のABA含量は，果実内発芽し易い系統‘S・VS’および‘S・VS・KY’よりも果実内発芽し難い系統‘R・VS’の方が高い結果となり，果実内発芽の難易度の系統間差とABA含量の差に関係があると推察された．しかし一方で‘S・VS’と‘S・VS・KY’の胎座部周辺果汁中ABA含量に大きな差がみられたことから，果実内発芽の抑制が起こるABA濃度閾値が系統によって大きく異なる可能性があるとし唆された．

結 論

本研究の結果，漿果であるメロンの果実内発芽が高硝酸態窒素条件または低カリウム条件下で胎座部周辺果汁中のABA含量が低下することにより発生することが解

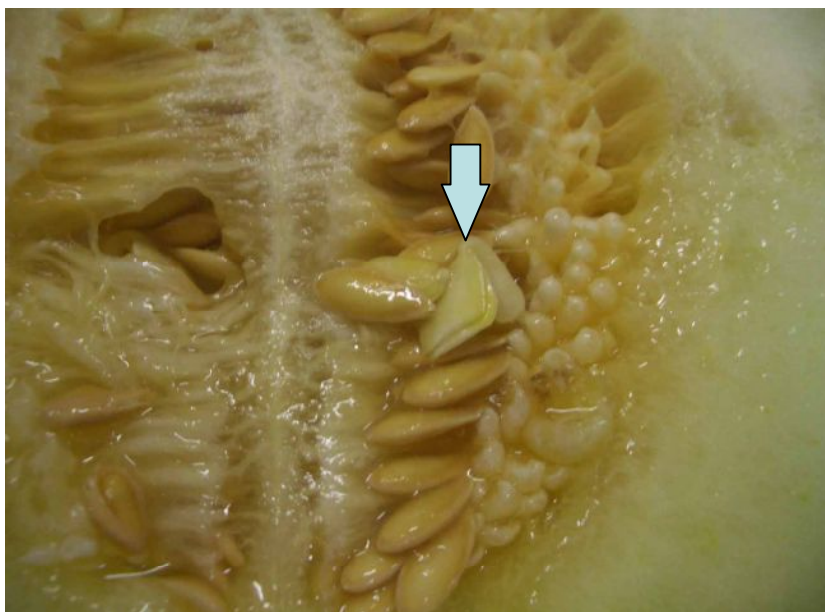
明された。さらに，高濃度カリウム $12.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 施肥により種子収量と種子品質の低下を招くことなく果実内発芽を抑制できることが示された。このことは，これまで情報が少なくその抑制方法が不明であった採種栽培における果実内発芽を施肥管理により抑制可能であることを示唆している。一方で，低カリウム施肥下での ABA 処理は，果実内発芽の抑制に有効であったものの種子収量や種子品質の低下を招き，本試験の濃度範囲では採種栽培に不適であると考えられた。

また，本研究では，果実内発芽の難易度の異なるメロン系統を用い，果実内発芽し易い系統は果実内発芽し難い系統よりも胎座部周辺果汁中の ABA 含量が低いこと，果実内発芽し難い系統は果実内発芽し易い系統よりも ABA による発芽抑制効果を受ける濃度閾値が低いことを明らかにした。これらの相乗効果が果実内発芽の発生における系統間差の要因であると考えられる。

これらの結果は，低カリウム条件下で果実内発芽し難い系統を選抜するなど育種への応用も可能であり，育種・採種の両面で本試験の知見が利用されることを切望する。本論文が情報量の少ない採種栽培研究発展の一助

となれば幸甚である。

参 考



果 実 内 発 芽 の よ う す 1



果 実 内 発 芽 の よ う す 2



果実内発芽（子葉展開ステージ）



果実内発芽（発根ステージ）

Nutritional and Physiological Study of
Viviparous Sprouting in Melon Fruit

January 2013

Graduate School of Horticulture.
Chiba University

Yasufumi Ochi

Summary

The present study was consisted of the following four experiments carried out at Japan Horticultural Production and Research Institute during 2007 ~ 2011.

Experiment 1. Melon (*Cucumis melo* L. group) plants of a resistant line and a susceptible line to viviparous sprouting, known as vivipary, were grown with three different concentrations (6.5, 13, and 26 $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$) of nitrate nitrogen in order to clarify the relationship between viviparous sprouting in the fruit and endogenous levels of abscisic acid (ABA). Vivipary was increased with the highest nitrate nitrogen treatment in the fruits of the susceptible line. No viviparous sprouting, however, was observed in in all nitrogen treatments for the resistant line. Higher nitrate nitrogen treatments decreased an ABA content in juice around placenta, showing higher content in the resistant line than in the susceptible line. These results suggest that high nitrate nitrogen

application decreases ABA content in juice around placenta, consequently causes the increase in viviparous sprouting, and that the susceptible line has lower content of ABA in juice.

Experiment 2. Melon plants of two resistant lines and one susceptible line to viviparous sprouting were grown with three different concentrations (2.4, 4.2, and $6.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$) of potassium to investigate the relationship between viviparous sprouting and endogenous abscisic acid (ABA). Seed yield per fruit was considerably decreased with decreasing potassium application in the susceptible line. In the resistant line, however, no influence on seed yield was observed. Potassium concentrations both in the petiole and in the juice around placenta were higher in the resistant line than in the susceptible ones. Vivipary was increased with decreasing concentration of potassium applied in the susceptible lines. No viviparous sprouting was observed in all potassium treatments for the resistant line. ABA content in the

fruit juice was decreased with decreasing potassium concentration. Germination test was carried out with different concentration of ABA, and resulted in sharp decline of seed germination with increasing ABA concentrations in resistant line. These results suggest that lower potassium application may cause a decrease of ABA content in fruit juice, thus may cause an increase of viviparous sprouting in the fruit, and that the resistant line shows the inhibitive effect of ABA on sprouting at lower threshold value of ABA concentration.

Experiment 3. The present experiments were undertaken in order to clarify the effects of a high potassium fertilization level on the occurrence of viviparous sprouting in melon fruit. Melon (*Cucumis melo* L. group) plants of two susceptible lines and one resistant line to viviparous sprouting were used at two different potassium concentrations. High potassium fertilization level ($12.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) resulted in a remarkable decrease of the occurrence of

viviparous sprouting in the susceptible lines, and in the increase of the endogenous ABA content. No significant differences were observed in the seed number per fruit, the seed weight and the percentage of seed germination at a high level of potassium fertilization.

Experiment 4. Further experiments were conducted in order to analyze the effects of exogenous ABA treatment at a low potassium fertilization level ($1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) on the occurrence of viviparous sprouting in melon fruit. At 25 days after pollination, ABA solution at different concentrations was sprayed on the fruits of the susceptible melon line grown at two different potassium fertilization levels. Even at a low potassium fertilization level, exogenous ABA application inhibited the occurrence of viviparous sprouting, and increased ABA contents both in the juice samples around the placenta and in the seeds. ABA treatment, however, led to a significant decrease in the seed number per fruit and in the percentage of

seed germination, as a result of a remarkable increase in the ABA content and potassium absorption.

謝 辞

本研究の計画・遂行から論文のとりまとめにあたり、多大なご支援と数多くの御助言・御指導を賜った公益財団法人園芸植物育種研究所の伊東 正理事長ならびに千葉大学園芸学研究科の篠原 温教授・丸尾 達准教授に謹んで感謝の意を表します。投稿論文の作成に際しては共著者として、論文校閲に多大な労を賜りましたこと重ねて御礼申し上げます。

台湾の農友種苗株式会社様には、本試験の重要な対照品種となる‘S・V S・KY’を快く御提供頂きましたことをここに記し深謝の意を表します。

園芸植物育種研究所の平林哲夫前常務理事・石川恵子部長・高橋 忍係長・三平智彦研究員には研究計画の段階から供試品種の選定、アブシジン酸の分析方法、種子の選別方法など惜しめない御指導を賜り、ここに深甚なる感謝の意を表します。林 明良技能員には、全ての試験の栽培管理、サンプルの調整について御協力頂きましたこと心より御礼申し上げます。

本論文の副査として綿密なる御校閲の労を賜り、御指

導を賜った千葉大学園芸学研究科の近藤 悟教授，後藤英司教授ならびに千葉大学教育学研究科の大河内信夫教授に厚く御礼申し上げます．

千葉大学園芸学研究科の北条雅章准教授・塚越 覚助教・淨閑正史助教には，投稿論文の作成に際して終始惜しみない御助言を賜りました．また園芸植物育種研究所ならびに千葉大学園芸学部蔬菜園芸学研究室の諸氏には，適切な御助言と御協力，暖かい励ましの言葉を頂きました．

最後に，本研究ならびに本論文のとりまとめに専心できるよう陰ながら支援頂いた妻 美穂をはじめとする家族に心から感謝の意を表します．

引用文献

- Ackerson, R.C. 1984. Abscisic acid and precocious germination in soybeans. *J. Exp. Bot.* 35: 414 – 421.
- Alboresi, A., C. Gestin, M. – T. Leydecker, M. Bedu, C. Meyer and H. – N. Truong. 2005. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in *Arabidopsis*. *Plant Cell Environ.* 28: 500 – 512.
- Arenas – Huertero, F., A. Arroyo, L. Zhou, J. Sheen and P. León. 2000. Analysis of *Arabidopsis* glucose insensitive mutants, *gin5* and *gin6*, reveals a central role of the plant hormone ABA in the regulation of plant vegetative development by sugar. *Genes Dev.* 14: 2085 – 2096.
- Barlow, E. W. R., J. W. Lee, R. Munns and M. G. Smart. 1980. Water relations of developing wheat grain. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 519 – 525.
- Benlloch-González, M., J. M. Fournier and M.

- Benlloch. 2010. K^+ deprivation induces xylem water and K^+ transport in sunflower: evidence for a co-ordinated control. *J. Exp. Bot.* 61: 157-164.
- Benlloch-González, M., J. Romera, S. Cristescu, F. Harren, J. M. Fournier and M. Benlloch. 2010. K starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure via ethylene synthesis in sunflower plants. *J. Exp. Bot.* 61: 1139-1145.
- Bethke, P. C., F. Gubler, J. V. Jacobsen and R. L. Jones. 2004. Dormancy of *Arabidopsis* seeds and barley grains can be broken by nitric oxide. *Planta* 219: 847-855.
- Bethke, P. C., I. G. L. Libourel, V. Reinöhl, R. L. Jones. 2006. Sodium nitroprusside, cyanide, nitrite, and nitrate break *Arabidopsis* seed dormancy in a nitric oxide-dependent manner. *Planta* 223: 805-812.
- Bewley, J. D., and D. W. Fountain. 1972. A distinction between the actions of abscisic acid, gibberellic

- acid and cytokinins in light-sensitive lettuce seed. *Planta* 102: 368-371.
- Cera, E. D. 2006. A Structural Perspective on Enzymes Activated by Monovalent Cations. *J. Biol. Chem.* 281(3): 1305-1308
- Crawford, N. M. 2006. Mechanisms for nitric Oxide synthesis in plants. *J. Exp. Bot.* 57: 471-478.
- Daie, J., S. D. Seeley and W. F. Campbell. 1979. Nitrogen deficiency influence on abscisic acid in tomato. *HortScience*. 14: 261-262.
- Desikan, R., R. Griffiths, J. Hancock and S. Neill. 2002. A new role for an old enzyme: nitrate reductase-mediated nitric oxide generation is required for abscisic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. the Natl. Acad. Sci. USA* 99: 16314-16328.
- Dos Santos, D. and M. Yamaguchi. 1979. Seed-sprouting in tomato fruits. *Sci. Hort.* 11: 131-139.
- Duan, B., Y. Yang, Y. Lu, H. Korpelainen, F.

- Berninger and C.Li. 2007. Interactions between water deficit, ABA, and provenances in *Picea asperata*. *J. Exp. Bot.* 58(11): 3025-36.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1995. Effect of supraoptimal root temperature on ABA levels in cucumber plants and its control by ABA applied to roots. *Acta Hort.* 394, 227-234.
- Föster, J. C. and W. D. Jeschke. 1993. Effects of potassium withdrawal on nitrate transport and on the contribution of the root to nitrate reduction in the whole plant. *J. Plant Physiol.* 141, 322-328.
- 深城貞義. 1936. 種子の果実内に於ける不正常発芽の機構に就いて. *農及園* 11: 1457-1462.
- 藤井健夫. 1972. 蔬菜園芸学各論. P85. 養賢堂. 東京.
- Harrington, J. F. 1960. Germination of seeds from carrot, lettuce, and pepper plants grown under severe nutrient deficiencies. *Hilgardia.* 30: 219-235.
- 伊東 正. 2009. 蔬菜の新品種第17巻. p.6. 誠文堂新光.

東京 .

岩田正利・江口義弘 . 1958 . 燐酸 , 加里の供給期間がハクサイの採種量並びに種子の品質に及ぼす影響 . 園学雑 . 27 : 171-178 .

禿泰雄・白井真・松井鑄一郎 . 1992 . 天然型アブシジン酸がトマトおよびメロンの果実肥大と成熟におよぼす効果 . 園学雑 . 61 別 1 : 292-293

Kobayashi, Y., K. Nabeta and H. Matsuura. 2010 .
Chemical Inhibition of Viviparous Germination
in the Fruit of Watermelon. Plant Cell Physiol.
51(9): 1594-1598 .

Kondo, S. and A. Tomiyama. 1998 . Changes of free and
conjugated ABA in the fruit of 'Satonishiki'
sweet cherry and the ABA metabolism after
application of (s)-(+)-ABA J. Hort. Sci. Biotechnol.
73(4): 467-472 .

小柴共一・神谷勇治・勝見允行 . 2006 . 植物ホルモンの
分子細胞生物学 . p.045 . 講談社 . 東京 .

Kucera, B., M. A. Cohn and G. Leubner-Metzger. 2005 .
Plant hormone interactions during seed dormancy

- release and germination. *Seed Sci. Res.* 15: 281-307.
- Libourel, I. G. L., P. C. Bethke, R. De Michele and R. L. Jones. 2006. Nitric oxide gas stimulates germination of dormant *Arabidopsis* seeds: use of a flow-through apparatus for delivery of nitric oxide. *Planta* 223: 813-820.
- Marrush, M., M. Yamaguchi and M. E. Saltveit. 1998. Effect of Potassium nutrition during Bell Pepper seed development on vivipary and endogenous levels of abscisic acid (ABA). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 925-930.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press (HB Publishers), London.
- Milborrow, B. V. 1969. The occurrence and function of abscisic acid in plants. *Sci. Prog.*, 57: 533-558
- 農林水産省大臣官房統計部. 2012. 平成23年産秋冬野菜, 指定野菜に準ずる野菜等の作付面積, 収穫量及び出荷量. 農林統計協会. 東京.
- Ruiz, J. M., D. A. Moreno, G. Villora, J. Olivares, P.

C. García, J. Hernández, and Luis Romero. 2000.
Nitrogen and Phosphorus Metabolism and Yield
of Capsicum Plant (*Capsicum annuum* L. cv.
Lamuyo) in Response to Increases in NK
Fertilization. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*
31(11-14), 2345-2357

Salama, A. M. S. E.-D. A. and P. F. Wareing. 1979.
Effect of mineral nutrition on endogenous
cytokinins in plants of sunflower (*Helianthus
annuus* L.). *J. Exp. Bot.* 30, 971-981.

Sarath, G., P. C. Bethke, R. Jones, L. M. Baird, G. Hou
and R. B. Mitchell. 2006. Nitric oxide
accelerates seed germination in warm-season
grasses. *Planta* 223: 1154-1164.

田中明・但野利秋・秋山由紀. 1977. 塩基適応性の作物
種間差(第6報): カリウム適応性-比較植物栄養に
関する研究. *土肥誌*. 48: 175-180

田中哲司. 2003. トマトの養液土耕栽培における葉柄汁
液中硝酸イオン濃度を用いた生育診断指標の策定.
愛知農総試研報. 35: 73-78.

- Walker - Simmons, M. 1987. ABA levels and sensitivity in developing wheat embryos of sprouting resistant and susceptible cultivars. *Plant Physiol.* 84: 61-66.
- Welbaum, G. E., T. Tissaoui and K. J. Bradford. 1990. Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.) . III .Sensitivity of germination to water potential and abscisic acid during development. *Plant Physiol.* 92: 1029-1037.
- Welbaum, G. E. 1999. Cucurbit seed development and production. *HortTechnology.* 9: 341-348.
- Welbaum, G. E., E. W. Pavel, D. R. Hill, M. K. Gunatilaka. R. L. Grayson, 2000. Compartmentation of abscisic acid in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) seeds. p.85-100. In: M. Black, K. J. Bradford, and J. Vázquez-Ramos (eds.) *Seed Biology.* CAB International, Wallington, UK.
- 山田良三 . 2004. トマト・メロン生産における環境保全

型養液土耕栽培システム． p.6 愛知農業総合試験
場．農業の新技術 No.76: 愛知．

Yamaguchi, M., G. C. Hanna, J. M. Ogawa, F. D.
Howard and B. Weir. 1967. Seed sprouting in
canning tomato fruit. Clif. Agric. 21:11.

本論文を構成する論文

越智靖文・伊東 正 . 2012. メロンの果実内発芽と内生
アブシジン酸含量に及ぼす硝酸態窒素施用の影響 .
園学研 . 11: 37-42

越智靖文・伊東 正 . 2012. メロンの果実内発芽と内生
アブシジン酸含量に及ぼすカリウム施用の影響 .
園学研 . 11: 43-48

Ochi, Y., T. Ito, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, M. Johkan,
T. Maruo and Y. Shinohara. 2013. Inhibition of
viviparous sprouting on melon seeds by high
potassium dosage or by Abscisic Acid
Application. J. Japan. Soc. Hort. Sci. (in press)