
助成研究報告書

農学・生物学プロジェクト研究

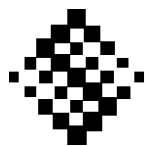
(2009－2011年度)

作物栽培に及ぼす海水の影響

Effects of Air-Borne or Intentionally-Applied Seawater on Crop Cultivation

The Salt Science Research Foundation
Project Research Report

平成25年3月



公益財団法人
ソルト・サイエンス研究財団

プロジェクト研究報告書 目次

農学・生物学分野

09B-11B 作物栽培に及ぼす海水の影響

1	まえがき 蔵田 憲次（東京大学）	1
2	海水に由来する栄養塩類の農地への自然供給量評価 - 「塩益」の定量的評価（09B1 - 11B1） 中西 康博（東京農業大学）	5
3	希釈海水を用いたニホンナシ、リンゴ栽培方法の確立 ~台木の耐塩性メカニズムの解明~（09B2 - 11B2） 松本 和浩（弘前大学）	21
4	食塩水を利用した果樹（ナシ）の落葉促進技術の開発（09B3 - 11B3） 松本 辰也（新潟県農業総合研究所）	39
5	塩ストレスによる植物病原菌の抑制（09B4 - 11B4） 篠原 信（農業・食品産業技術総合研究機構）	59

CONTENTS

PROJECT RESEARCHES OF AGRICULTURE AND BIOLOGY

09B – 11B Effects of Air-Borne or Intentionally-Applied Seawater on Crop Cultivation

1	Foreword	
	Kenji Kurata (The University of Tokyo)	3
2	A Quantitative Study on Plant Nutrients Naturally Supplied to Agricultural Land from Seawater (09B1 – 11B1)	
	Yasuhiro Nakanishi (Tokyo University of Agriculture)	19
3	Establishment of Cultivation System of Japanese Pear and Apple by Diluted Sea-Water ~The Clarification of Salt Tolerant Mechanism of The Rootstocks~ (09B2 – 11B2)	
	Kazuhiro Matsumoto (Hirosaki University)	37
4	Development of Defoliation Technology Using Salt Water on Pear Tree (09B3 – 11B3)	
	Tatsuya Matsumoto (Niigata Agricultural Research Institute)	57
5	Control of Plant Pathogen by Salt Stress (09B4 – 11B4)	
	Makoto Shinohara (National Agriculture and Food Research Organization)	65

まえがき

蔵田 憲次

プロジェクトリーダー
東京大学名誉教授

海に囲まれた我が国では、海からの影響を強く受けて産業活動・生活が営まれている。農業は、一見海とは無関係と見なされがちであるが、潮風害のように目に見える形での影響を除いて、海の影響の実態には不明な部分が多い。沿岸地域では、台風による強風時以外でも、潮風の影響を受けていると考えられるが、海からの潮風が作物生産に及ぼす影響には未解明の部分が多い。その影響には、潮風害を発生させる強度の塩ストレスのようにマイナスの効果だけでなく、海水に含まれる微量ミネラルや軽微なストレスによる作物品質の向上などのプラスの効果も予想される。

このプロジェクトでは、海水の作物栽培への正負両面の影響の実態を解明することを目的とし、潮風のような自然現象として飛来する海水だけでなく、積極的に海水を作物栽培に利用する栽培法をも対象とし、広く研究課題を公募した。多数の応募の中から4課題を選択した。当初の意図は、海水の作物栽培への正負両面の影響の解明が目的であったが、採択した研究課題は正の面に関するものであった。それは、潮風害のような負の側面に関しては、すでに多量の研究蓄積があり、新規性に欠けるからであった。また、作物栽培への積極的な海水の利用に関しても、たとえば、海水(あるいは塩水)施用による糖度の高いトマトの産出などに関しても研究事例が多く、すでに実用化されているものもある。そのような課題は選択せず、新規性のある海水(塩水)利用の課題をとりあげた。結果として、海水飛来による栄養塩の農地への供給実態の解明が1題、海水の積極的利用に

関する課題が3題である。

中西らは、海水由来作物栄養の飛来量の定量化を試みている。本州の津市域、沖縄南部、宮古島、石垣島の4地域に、ほぼ南北方向にトランセクトを設定し、各5地点で海水由来塩類を定量化した。多くの塩類は、津市域に比べ南西諸島で多かった。注目すべきは、石垣島で観測されたカリウム飛来量は、サトウキビ栽培で推奨される施肥量の半分に達したことである。このことは、飛来海水による塩類はサトウキビ栽培に正の効果をもたらしていることを示している。著者らは、塩害ならぬ、「塩益」という言葉を提案している。

松本和浩らは、NaCl 溶液を利用して、ニホンナシ、リンゴの耐塩性台木を選抜し、CaCl₂ 添加による塩ストレス緩和のメカニズムを推定している。日本で育種されたリンゴ‘ふじ’は世界で最も生産量の多い品種である。しかし、イスラエルのような乾燥地での栽培では、日本のように真水を作物栽培に利用できる環境にはないため、適切な耐塩性台木が求められていた。この研究は、この要望に応えるものであろう。

松本辰也らは、食塩水を利用したナシの落葉促進技術を開発した。ナシの栽培では、11月下旬の落葉以降、剪定や苗木の移植作業が行われる。しかし、この時期は厳冬積雪期と重なるため、重労働が強いられることとなる。このため、少しでも落葉を早め、作業期間の前進が望まれている。筆者らは、食塩水施用による落葉促進という新規なアイデアに基づき、食塩水濃度や施用時期を変えて実験を繰り返し、適度な方法を開発した。しか

し、食塩水施用の樹体への影響は皆無ではなく、今後の課題として残っている。

篠原は、トマトなどのナス科植物に甚大な被害をもたらす重要病原細菌である青枯病菌の殺菌への食塩水利用を研究した。培養直後の青枯病菌は食塩水で殺菌できたが、青枯病菌を滅菌水中で保持すると耐塩性を獲得することがわかった。そこで、食塩水に混入することで、耐塩性を獲得した青枯病菌をも殺菌できる物質を探し出している。この発想のものは、江戸時代の古書のなかの記述である。まさに「温故知新」を地でいった研究といえよう。

以上、4つの研究の大略を紹介したが、「塩益」という新規な発想、海外での需要に触発された研究、重労働から農家を解放したいという希望からの発想、温故知新

の発想など、プロジェクト参加チームそれぞれが、発想・動機づけに特徴のある研究を展開し、実りある成果をもたらしたと総括している。いうまでもなく、これで研究が完結したわけではなく、それぞれに解決すべき課題が残されている。プロジェクト終了後の研究の続行に期待したい。

最後に一言付言したい。分子生物学の研究のように、環境制御された室内での実験と違い、このプロジェクトの多くの研究は野外での実験であった。したがって、気象などの影響を受け、計画通りに進展しないなど様々な障害があったものと思われる。また、実用技術に近いレベルでの研究でもあったので、制度的な制約もあった。これらの障害にもかかわらず、研究を進展させたプロジェクト参加者に感謝の意を表したい。

Foreword

Kenji Kurata

Project Leader

Professor Emeritus, The University of Tokyo

Surrounded by sea, people's activities not only in industrial ones but also in everyday life are much affected by the presence of sea near around in Japan. Agriculture, taking place on land, is seemingly not much affected by sea, but the actual effects of sea on agriculture have been poorly understood except for the visual salt damages of crops caused by strong wind from the sea. However, we can also expect positive effects of seawater on crops, if the amount of seawater transported to (applied to) the crops is restricted to the level under the one causing salt damages, because seawater contains plant nutrients. It has also been reported that slight stress brings about higher quality of agricultural products. However, these positive effects of seawater on agriculture have been poorly understood.

This research project aimed at disclosing not only the negative effects but also positive ones of seawater (salt water) on crops, including developing new crop cultivation methods using seawater (salt water) and accepted candidates from the public. Four studies were selected among many applicants. Although the initial concept of the project included negative effects of seawater on crops, selected studies were all about the positive effects. The reason was that the studies on negative effects have a long history and much knowledge has already been accumulated. Study candidates on applying seawater to crops aiming at producing high quality fruits (e.g., sweet tomato) were also excluded, because there have also been many studies in this field and some of them have already been put to practical use. As a result, one study concerning air-borne salt transport to the agricultural field from the sea and three studies concerning intentional application of seawater (salt water) to the crops were selected.

Nakanishi *et al.* quantified the amount of air-borne plant nutrients transported to the land from the sea by wind at four locations: Tsu city area in Honshu (main land), southern part of Okinawa, Miyako Island, and Ishigaki Island. The last three are subtropical small islands belonging to Ryuku Archipelago. In Ryukyu Archipelago areas the amounts of the salts detected on land were more abundant in many species than those detected in Tsu city area. It is worth noting that the amount of air-borne transported K^+ in Ishigaki Island corresponded to about the half of the recommended value of potassium application for sugarcane cultivation. This finding clearly demonstrated the positive effects of air-borne transportation of seawater to the crop fields and the authors coined a new word expressing these effects: EN-EKI (EN=salt, EKI=benefit).

Matsumoto, K. *et al.* selected the salt-tolerant apple and Japanese pear rootstocks using NaCl solutions and clarified the mechanism of mitigation of the salt stress to the rootstocks by adding $CaCl_2$

in the solution. The study was motivated by the fact that in many parts in the world, in particular in desert areas, the apple variety 'Fuji', bred in Japan and a most widely cultivated variety in the world, is cultivated using not fresh water as in Japan but in many cases salty water. Therefore, salt-tolerant rootstock was strongly desired.

Matsumoto, T. *et al.* developed a defoliation technology of pear trees by spraying saline solution on the trees. In pear cultivation, pruning and seedling transplanting are conducted after most trees are defoliated, that is, after late November. However, this time of year is already cold snow season and the farmers are obliged to work hard in severe conditions. The study was motivated to mitigate the farmers' burden and found the appropriate timing of spraying and the concentration of salt in the solution to accelerate the defoliation to avert the hard season. The effects of saline solution spraying on trees were not negligible and left for the future study.

Shinohara studied the saline-solution sterilization method of *Ralstonia solanacearum* which causes serious wilt disease to solanaceous crops such as tomato. Two days after culturing *R. solanacearum* in the medium, saline solution successfully sterilized it. However, after keeping *R. solanacearum* more than one month in sterile water, it acquired salt tolerance. The author found the material to add to the saline solution which sterilized even salt tolerant *R. solanacearum*. The author got this idea from the description in an old book written in Edo era. This is a typical ONKO-CHISHIN (to discover new things by taking lessons from the past).

As above, each group conducted distinctive study either in the ideas such as EN-EKI and ONKO-CHISHIN or in motivations such as enabling fruit culture in desert areas and releasing farmers from severe labor, and all brought about fruitful results. It goes without saying that none of the above-mentioned studies have completed and many questions still remain to be answered.

Last but not at least, most of the above-mentioned studies were conducted outdoors, affected by outside conditions (weather). This brought about more difficulty in conducting experiments compared to the indoor experiments such as molecular biology studies. Furthermore, some studies confronted legal problems to put the results to practice. I appreciate authors' efforts to overcome these problems.

海水に由来する栄養塩類の農地への自然供給量評価 —「塩益」の定量的評価

中西 康博¹, 松谷 達馬², 小沢 聖³, 成岡 市⁴, 古家 克彦⁵, 小笠原 敬⁵

¹ 東京農業大学国際食料情報学部, ² 東京農業大学大学院農学研究科,

³ 国際農林水産業研究センター島嶼研究拠点(現、明治大学黒川農場),

⁴ 三重大学大学院生物資源学研究科, ⁵ 財団法人沖縄県環境科学センター環境科学部

概要 モンスーン地帯でかつ台風の進路上に位置する地域では、海水由来塩類の飛来量が多く、とりわけ狭小な島嶼地域でその飛来の頻度と量は多大で、特に台風来襲時や、冬季の北西モンスーン時期にはより顕著になると推察される。この塩類による作物への極度の塩ストレスは塩害と称される一方、このような海水由来塩類の飛来は同時に Mg、S、Ca、K、B 等の植物栄養が陸地へ自然供給されていることを意味し、作物に対するこの効果は、塩害に対し、いわば「塩益」とも称するべきものである。

そこで本研究は、海水由来作物栄養の飛来量(自然供給量)を量的に評価すること、ならびに飛来量の法則性、特に気象条件との関係を検討することを目的とし、三重県中部津市域、南西諸島の沖縄島南部(以下、単に沖縄島という)、宮古島および石垣島の4地域において、ほぼ南北方向に設定したライントランセクト上の各5地点に新規開発した海水由来塩類(以下、海塩)を捕捉する装置(以下、海塩捕捉装置)を設置した。本装置は、併設したマリOTTタンクにより、常態的に一定の面積と高さの純水水面をもつ円筒状のポリプロピレン製捕捉槽(内径 276 mm)を設け、これにより大気と降水の双方に由来する乾性と湿性双方のエアロゾルを捕捉できるものとした。2009年7月から2011年12月までの調査期間における試料採取回数は、津地域、沖縄島、宮古島、石垣島でそれぞれ16~19回、27回、35~36回、28~29回であった。得られた結果は以下である。

- 1) Na⁺ 捕捉量は、津地域の 1.8~2.6 gm²year⁻¹ に対し、沖縄島 13.9~30.7 gm²year⁻¹、宮古島 10.8~22.4 gm²year⁻¹、石垣島 10.6~16.4 gm²year⁻¹ の範囲で、南西諸島の量は津地域の量に対し約 5~15 倍に達した。
- 2) 捕捉量から計算された Cl/Na⁺ 比は、津地域 1.766、沖縄島 1.774、宮古島 1.762、石垣島 1.793 で、標準的の海水比 1.798 に近似したことから、本研究で新規開発した海塩捕捉装置の精度は高いと判断した。
- 3) K⁺ 捕捉量は、津地域 0.16~0.66 gm²year⁻¹、沖縄島 0.48~1.16 gm²year⁻¹、宮古島 0.59~1.36 gm²year⁻¹、石垣島 0.45~1.77 gm²year⁻¹ であったが、K⁺/Na⁺ 比は、とくに津地域で海水比を大きく上回り、これらの地点では、例えば肥料や土壌などに由来する K⁺ が捕捉量に加わった可能性が考えられた。
- 4) 本調査結果で捕捉された K⁺ の最大量 1.77 gm²year⁻¹(石垣島)を、カリ K₂O に換算すると 2.1 gm²year⁻¹ となり、沖縄県のサトウキビ栽培における推奨カリ施用量 4~6 gm²year⁻¹ の約 5 割に相当することが示された。
- 5) 副産的に捕捉された硝酸態窒素量と無機態窒素総量は、津地域でそれぞれ 0.21~0.67 gm²year⁻¹、0.39~1.05 gm²year⁻¹、沖縄島で 0.22~0.36 gm²year⁻¹、0.34~0.80 gm²year⁻¹、宮古島で 0.13~0.33 gm²year⁻¹、0.32~0.51 gm²year⁻¹、石垣島で 0.16~0.37 gm²year⁻¹、0.23~0.60 gm²year⁻¹ であった。
- 6) 調査期間中に日最高風速を記録した風向の発生頻度を調べた結果、津地域の風向は北西と南西にほぼ収束される一方、南西諸島の3地域では北~北東風と南~南東風に収束され、各調査地域の典型的風向は二大別されることが示された。

7) 北風系が優勢となった採取期間に捕捉された Na^+ 量と日平均風速の期間最大値との関係を調べた結果、宮古島や石垣島の地点など、いくつかの調査地点では、高い正の相関関係が示された。

8) 台風襲撃・接近期間中における Na^+ 捕捉量は、多くの地点で風速関連データと正の相関が示され、宮古島や石垣島では採取期間中の最大瞬間風速との間の相関係数はきわめて高かった。

9) 海塩飛来量は風速を一つの関数として含むモデル式で示すことのできる可能性が示唆されたが、そのモデル式の完成には至らなかった。

1. 研究目的

モンスーン地帯でかつ台風の進路上に位置する地域では、海水由来塩類の飛来量は内陸に比較して多く、とりわけ南西諸島のように狭小な島嶼地域ではその飛来の頻度と量は多大で、特に台風来襲時や、冬季の北西モンスーン時期にはより顕著になるものと推察される。このようなイベント時に大量の塩類が農地に飛来し、これにより極度の塩ストレスが作物に与えられる場合、塩害と称される。

しかし一方、このような海水由来塩類の飛来は同時に、それら塩類に含まれる Mg、S、Ca、K、B 等の植物栄養が農地や森林・緑地等に自然供給されていることを意味し、この効果は、塩害に対し、作物・植物にとっていわば「塩益」と称すべきものであると考えられる。

沖縄県には、その多くの表層地質を形成する琉球石灰岩に由来する Ca の影響により、アルカリ性を呈する土壤が広く分布する。アルカリ性土壤で生育する植物には一般に、例えば B 欠乏が生じやすいことが植物栄養学的に知られているが、そのような症状の発生は見られない。また同県の基幹作物であるサトウキビは、しばしば同一農地で複数年連作されるが、栄養欠乏に起因する連作障害例もほとんど報告されていない。このように、アルカリ性土壤や連作に起因する栄養障害が作物に発生しにくい背景には、海水に由来する B をはじめとする植物栄養の陸域への自然供給が少なからず寄与していることが推察される。

しかしながら、海水由来塩類による塩害に関する研究例¹⁾や、また海水由来塩類による送電施設の腐食防止を目的とした研究報告はいくつかある²⁻⁵⁾が、本研究のように海水由来塩類を植物栄養の農地への自然供給という観点において、その「塩益」の量的評価を試みた調査・研究例は見当たらない。そこで本研究は、海水由来作物栄養の飛来量(自然供給量)を量的に評価すること、ならびに飛来量の法則性、特に気象条件との関係を検討するこ

とを目的とした。

本研究は、公益財団法人ソルトサイエンス研究財団より平成 21~23 年度の 3 年度にわたり研究助成を受け、本報告書は、その成果を総合的にまとめたものである。

2. 材料と方法

研究対象地域は Fig. 1 に示すように、北から三重県中部津市域、南西諸島の沖縄島南部(以下、単に沖縄島という)、宮古島および石垣島の 4 地域とした。これらの各地域において、おおよそ南北方向となるようにラインランセクトを設定し、ライン上の各 5 地点を調査地点とした。各地域における調査地点の位置を Fig. 2~Fig. 5 に示し、また各地点の緯度と標高を Table 1 に示した。

各調査地点は、土砂塵等が影響しにくい開けた空間を有する場所(家屋の屋上等)を選択し、それぞれの地点に、Fig. 6 に示した海水由来塩類(以下、海塩)を捕捉する装置(以下、海塩捕捉装置)を設置した。海塩捕捉装置は本研究において開発したもので、ポリプロピレン(PP)を主な材質とした市販材料を加工することにより作成した。マリオットタンクを併設することにより、常態的に、一定の面積と高さの純水水面をもつ円筒状の捕捉槽(内径 276 mm, 厚さ 2.4 mm)を設け、これにより大気と降水の双方に由来する海塩、すなわち乾性と湿性双方のエアロゾルを捕捉できるものと考えた。また、台風時などの大雨時等には、捕捉槽の下部に設置した 2 つの 20 L 容タンク(以下、越流水槽)に流入するようにした。

本装置を 2009 年の 7 月から 8 月にかけて、上述した 4 地域 20 地点に設置し、捕捉槽に約 3 L ならびにマリオットタンクに約 6 L の計 9 L の純水(イオン交換樹脂通過後に蒸留した水)を注入した状態を初期状態として実験を開始した。

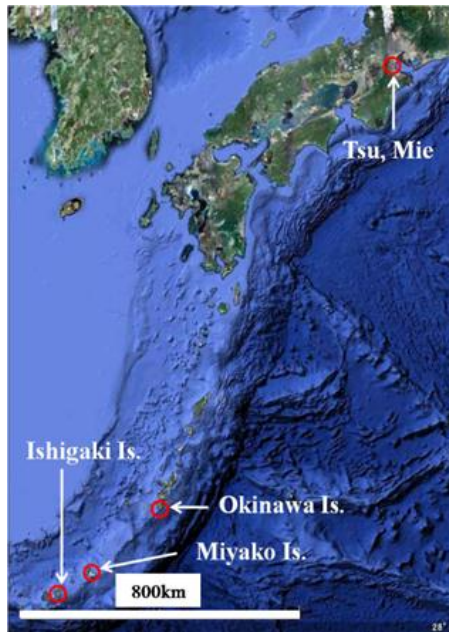


Fig. 1. Location of the study areas (Figure source: google)

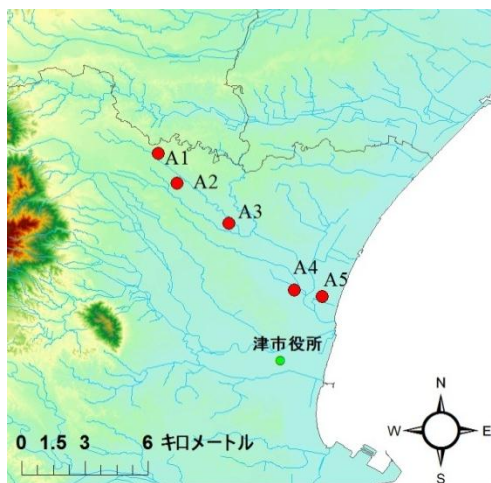


Fig. 2. Monitoring points in Tsu area, Mie pref.

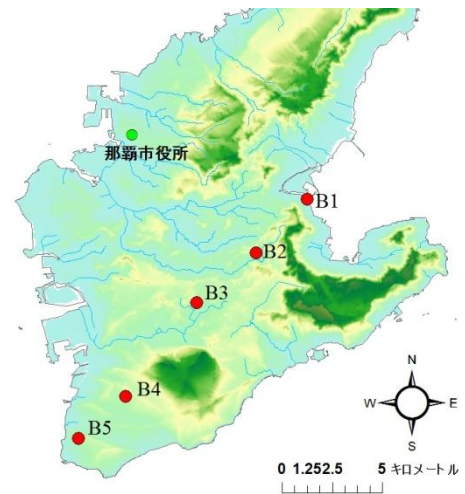


Fig. 3. Monitoring points on Okinawa Is.

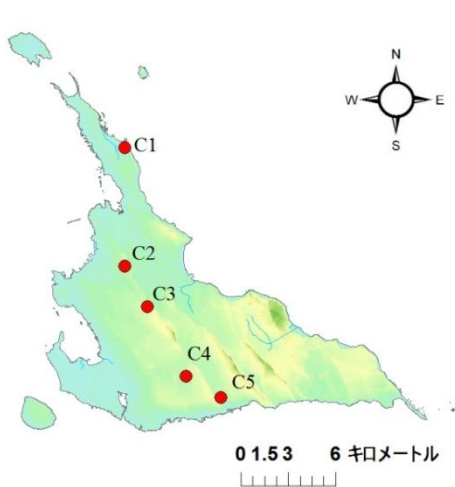


Fig. 4. Monitoring points on Miyako Is.

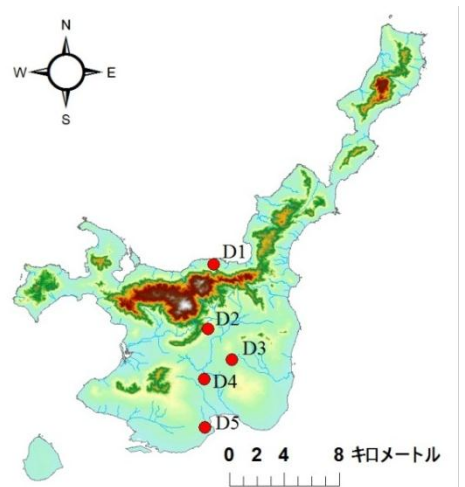


Fig. 5. Monitoring points on Ishigaki Is.

Table 1. Location of survey points

Area	Point No.	N. Lat.			E. Long.			Height (m, a.s.l)		
		°	'	"	°	'	"	G. L.	Building	Sum
Tsu, Mie	A1	34	48	28.8	136	27	17.0	58	3.1	61.1
	A2	34	47	37.1	136	27	38.8	45	8.0	53.0
	A3	34	46	37.3	136	29	2.9	15	10.0	25.0
	A4	34	44	56.6	136	30	43.3	0	14.9	14.9
	A5	34	44	45.2	136	31	25.9	5	27.9	32.9
Okinawa Is.	B1	26	11	56.5	127	46	4.0	9	17.0	26.0
	B2	26	10	32.1	127	44	43.2	58	9.3	67.3
	B3	26	9	1.9	127	42	59.0	37	7.7	44.7
	B4	26	6	36.4	127	41	0.6	55	8.0	63.0
	B5	26	5	32.0	127	39	54.0	38	6.1	44.1
Miyako Is.	C1	24	52	22.8	125	17	53.0	20	4.2	24.2
	C2	24	48	19.0	125	17	56.4	46	3.6	49.6
	C3	24	46	52.3	125	18	42.6	63	8.5	71.5
	C4	24	44	36.6	125	19	58.4	51	3.9	54.9
	C5	24	43	51.3	125	21	6.4	44	9.9	53.9
Ishigaki Is.	D1	24	27	13.4	124	12	7.5	26	3.3	29.3
	D2	24	24	40.0	124	11	51.8	83	5.5	88.5
	D3	24	23	20.1	124	12	31.5	31	3.9	34.9
	D4	24	22	42.7	124	11	44.6	31	9.4	40.4
	D5	24	20	46.3	124	11	43.6	27	12.3	39.3

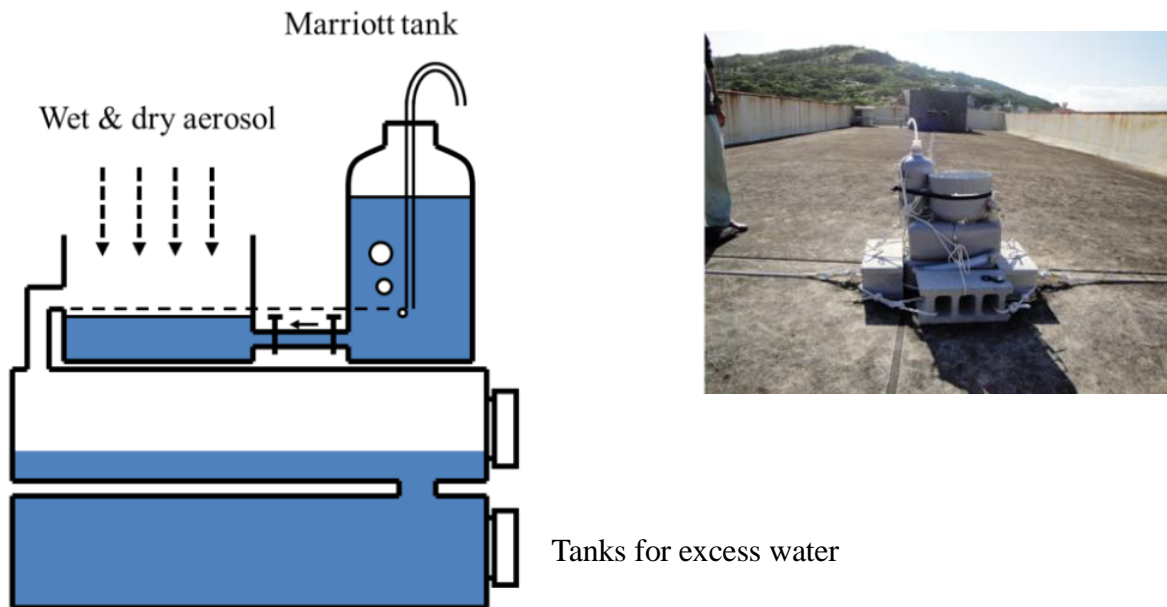


Fig. 6. Aerosol gauge

試料水の採取は、原則的に月 1 回の頻度とし、台風時や北西モンスーンの強い時期にはその直前直後において、次の手順で行った。まず装置の各部位(捕捉槽, マリオットタンク, 越流水槽)に残留する水量を1~3 L容のメスシリンダーを用いてそれぞれ計量し、これを 40 L 程度の容量のポリタンクに移した。次いで、同上各部位を純水で洗い、この水量もそれぞれ計測した後に、同上ポリタンクに移した。その後、ポリタンク内の試料水をよく攪拌し、これから約 100 mL をポリビンに採取して密栓し、分析に供した。また試料採取後は、初期状態同様に 9 L の純水を注入し、調査を再開した。

採取された試料中の陰陽イオン(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-})の濃度を、イオンクロマトグラフ法により、東京農業大学宮古亜熱帯農場(沖縄県宮古島市在)の実験室において測定した。計測された各種イオン濃度に試料水採水時に計量した全水量を乗じた値を、調査期間中に捕捉槽の面積(598 cm^2)に捕捉されたイオン量とした。また、本装置の精度は、捕捉された Cl^-/Na^+ 比を海水のそれと比較することにより行い、その他のイオンは原則的に、海水の構成比に応じて捕捉される⁶⁾とした。なお気象データは、最寄の气象台における観測値を用いた。

3. 結果と考察

3.1 海塩飛来量評価

調査期間中(2009年7月~2011年12月)に海塩捕捉装置を用いて水試料を採取した回数は、津地域、沖縄島、宮古島、石垣島でそれぞれ16~19回、27回、35~36回、28~29回で、それらの地点別平均インターバルは40~45日、26日、24日、26~27日であった。なお、これら1回ごとの調査期間を、以降、採取期間という。

各採取期間に得られた試料を分析した結果のうち、 Na^+ と Cl^- に関する結果をFig. 7に示し、併せて、本装置による測定精度を評価するために、各地域における Cl^-/Na^+ 比を海水のそれと並べてFig. 8に示した。

Na^+ の捕捉量は、津地域で1.8~2.6 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲であったのに対し、沖縄島では13.9~30.7 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、宮古島では10.8~22.4 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、石垣島では10.6~16.4 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲であり、南西諸島の南方地域でとりわけ高かった。このように、海塩飛来量を Na^+ で評価した場合、南西諸島における量は津地域の量に対し約5~15倍に

達することが示された。

また、各地域における調査地点間の違いをみると、津地域では大差なかったのに対し、南西諸島の3地域では比較的大きな差が示され、沖縄島では最南北2地点で大きな値が示された一方、宮古島と石垣島では、最北地点の値が最も高く、南下するに従い値が小さくなる傾向が示された。

Cl^- に関しては、津地域における捕捉量はおよそ3.4~4.9 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ であったのに対し、沖縄島ではおよそ25.2~52.3 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、宮古島ではおよそ19.2~40.5 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、石垣島ではおよそ18.2~28.5 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲で捕捉され、津地域に対する南西諸島の量比や、南西諸島における同一地域内の地点間差は Na^+ とほぼ同様の傾向が示された。

一方、各地域の5地点において捕捉された Na^+ と Cl^- 量をそれぞれ平均して求めた Cl^-/Na^+ 比(Fig. 8)は、標準的な海水比である1.798に対し、津地域1.766、沖縄島1.774、宮古島1.762、石垣島1.793であった。このように各調査地域における結果は、海水比にほぼ近似したことから、本研究において開発した海塩捕捉装置により得られた試料の分析データの信頼性は高いと判断した。

次に、海塩に由来する植物栄養で、かつイオンクロマトグラフ法で検出される成分として、 K^+ と Mg^{2+} の捕捉量をFig. 9に示した。

K^+ の捕捉量は、津地域では0.16~0.66 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲であったのに対し、沖縄島では0.48~1.16 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、宮古島では0.59~1.36 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ 、石垣島では0.45~1.77 $\text{gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲で捕捉され、4つの地域間の差異は Na^+ や Cl^- に関する結果と異なる傾向が示された。

そこで各地域・地点において捕捉された K^+/Na^+ 比を海水のそれと並べてFig. 10に示した。その結果、海水比の0.038に対し、津地域ではA1、A3、A5において1.8~6.7倍程度の K^+ の捕捉量であることがわかった。一方、南西諸島の各地域では、海水比とは若干の差異が認められるものの、一部の地点を除き、おおむね海水比に準じた比率であることが示された。この違いが生じた背景には、津地域など海水比を大きく上回る値を示した地点では、海水に由来しない、例えば肥料や土壌由来の K^+ が混入して捕捉された可能性が考えられる。

他方、このように捕捉された K^+ 量を、肥料成分であるカ

リ K_2O に換算すると、その 1.2 倍量になる。本調査結果で捕捉された K^+ の最大量は $1.77 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ (石垣島)であったので、カリに換算すると $2.1 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ となる。沖縄県の島尻マーグ土壌(宮古島や沖縄島南部地域の典型土壌)でのサトウキビ栽培において推奨されているカリ施用量は、 $4\sim 6 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 程度⁷⁾ であるので、その 3~5 割に相当する量が場所によっては海塩由来で供給されていることになる。

Mg^{2+} の捕捉量は、津地域では $0.14\sim 0.37 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲であったのに対し、沖縄島では $1.33\sim 3.14 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、宮古島では $0.95\sim 1.71 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、石垣島では $0.61\sim 1.58 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲で捕捉された。 Mg^{2+} の捕捉量についても K^+ と同様に、各地域・地点において捕捉された Mg^{2+}/Na^+ 比を海水のそれと並べて Fig. 11 に示した。これによると、海水比の 0.12 に対し、この値を上回った津地域、沖縄島ではこれに近似した値、また他の 2 島においてもほぼそれに準じた値となったが、津地域では K^+ の結果とは

相反し、おおむね低い値が示された。

他方、このように捕捉された Mg^{2+} 量を肥料成分である苦土 MgO に換算するとその 1.66 倍量になる。これまでの南西諸島における調査結果では、捕捉された Mg^{2+} の最大量はおよそ $3.14 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ であったので、苦土に換算するとおよそ $5.21 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ となる。

また、海水由来塩類ではないが、同時に捕捉された無機態窒素の総量と、そのうちの硝酸態窒素量を Fig. 12 に示した。これによると、硝酸態窒素ならびに無機態窒素の捕捉量は、津地域ではそれぞれ $0.21\sim 0.67 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、 $0.39\sim 1.05 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲であったのに対し、沖縄島では $0.22\sim 0.36 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、 $0.34\sim 0.80 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、宮古島では $0.13\sim 0.33 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、 $0.32\sim 0.51 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、石垣島では $0.16\sim 0.37 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ 、 $0.23\sim 0.60 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ の範囲で捕捉された。なお、沖縄県の島尻マーグ土壌でのサトウキビ栽培において、化学肥料として施用する窒素の推奨量は、 $10\sim 22 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ である⁷⁾。

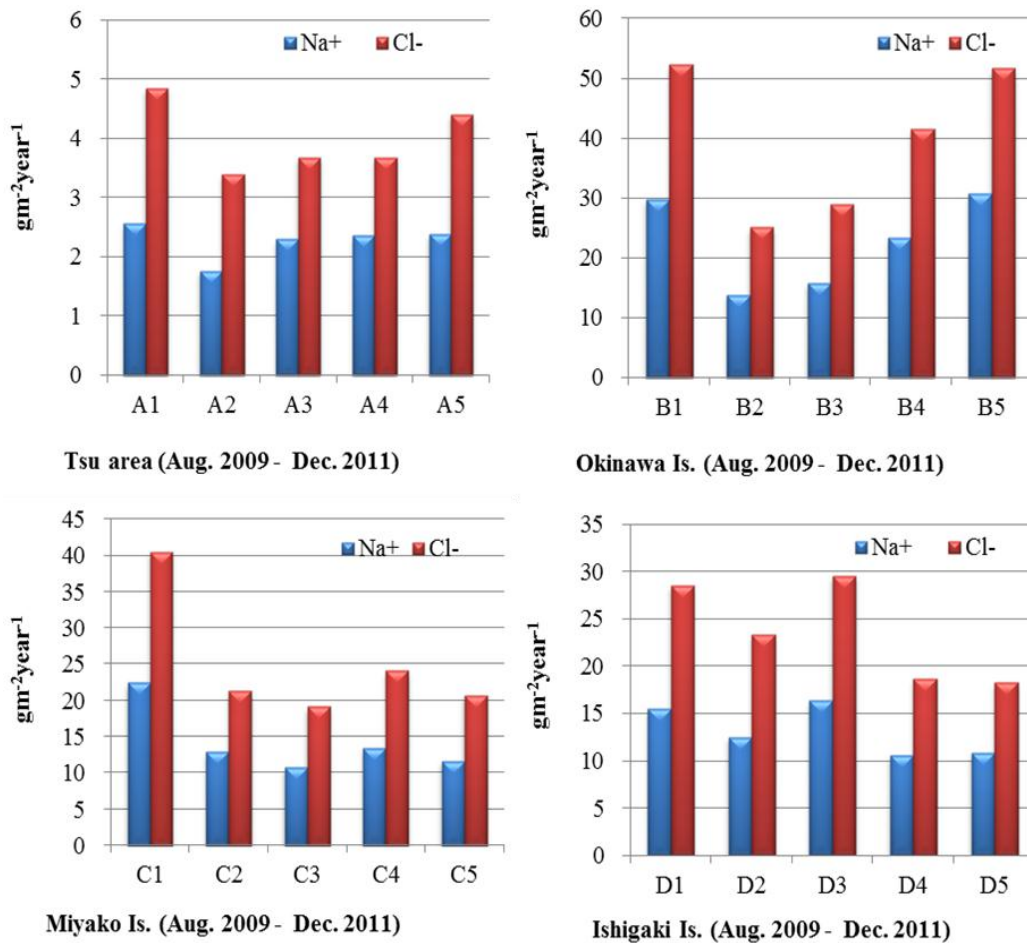


Fig. 7. The amount of Na^+ and Cl^- trapped in aerosol gauge

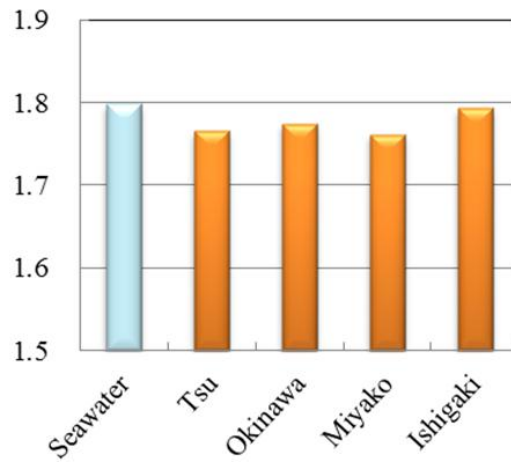


Fig. 8. Cl⁻/Na⁺ ratio in each area

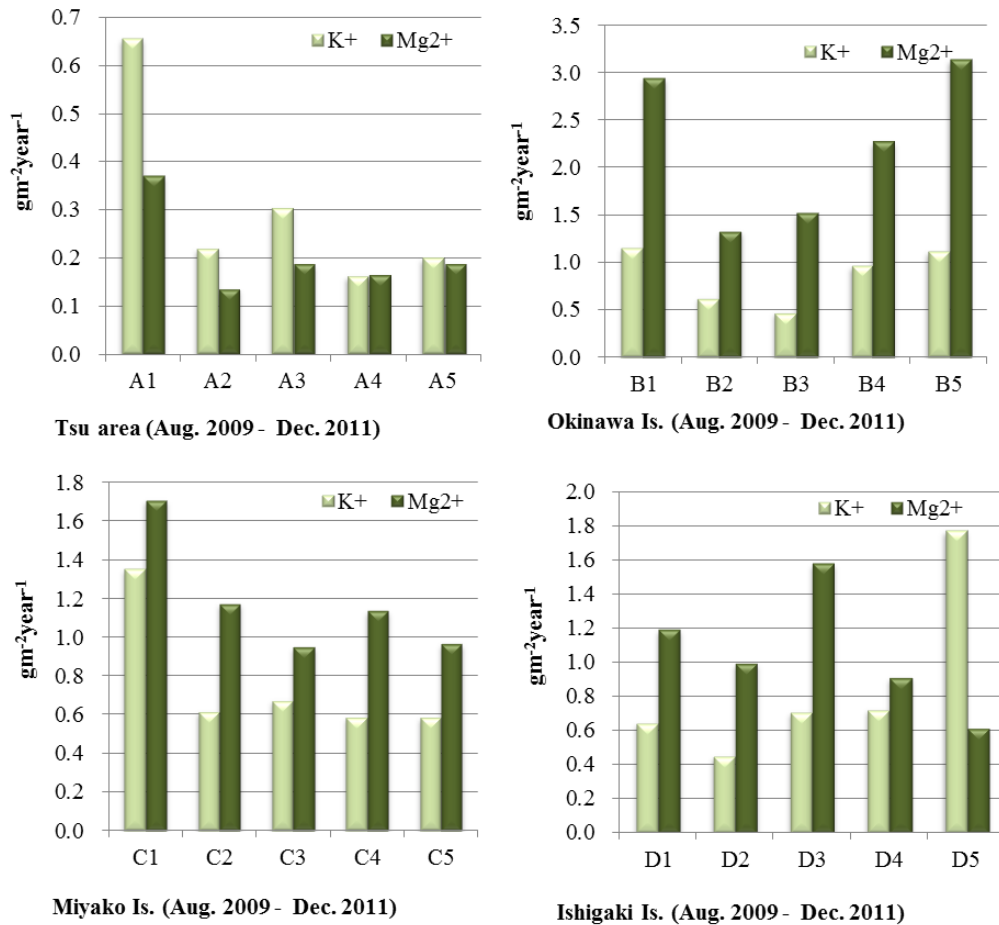


Fig. 9. The amount of K⁺ and Mg²⁺ trapped in aerosol gauge

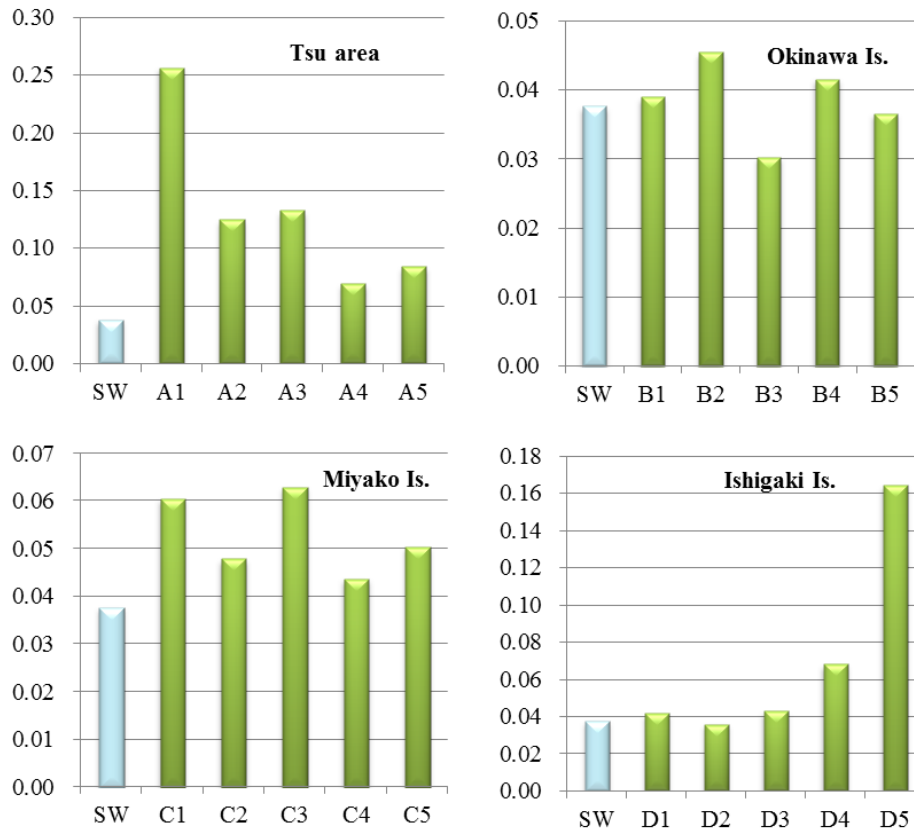


Fig. 10. K^+/Na^+ ratio at each monitoring point

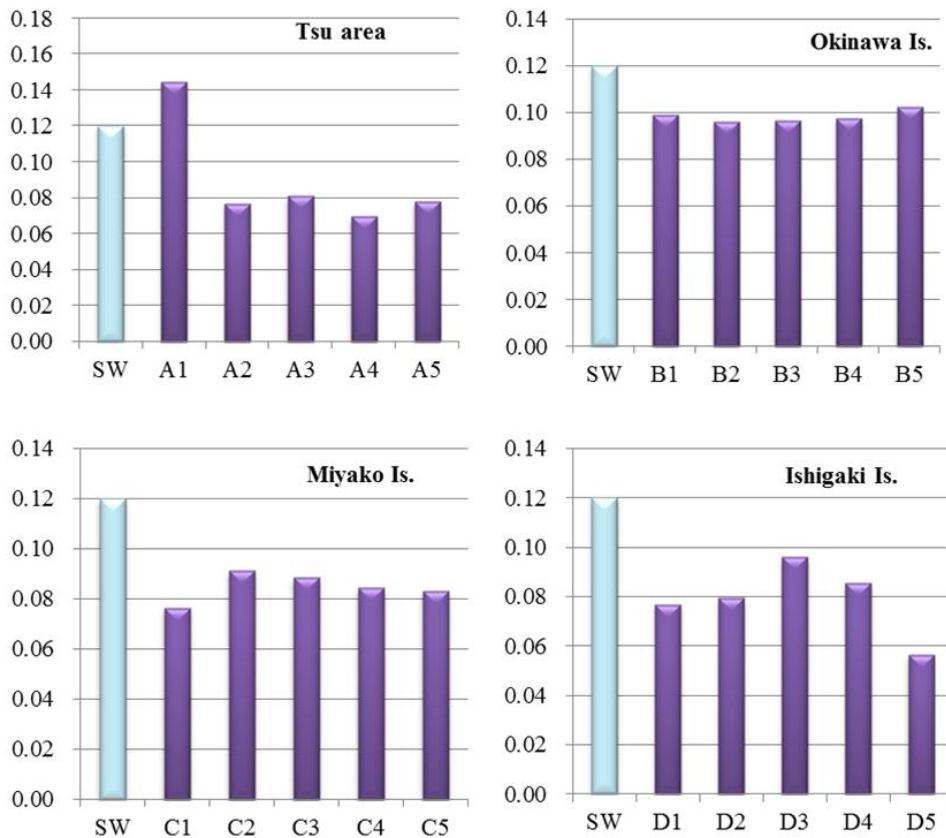


Fig. 11. Mg^{2+}/Na^+ ratio at each monitoring point

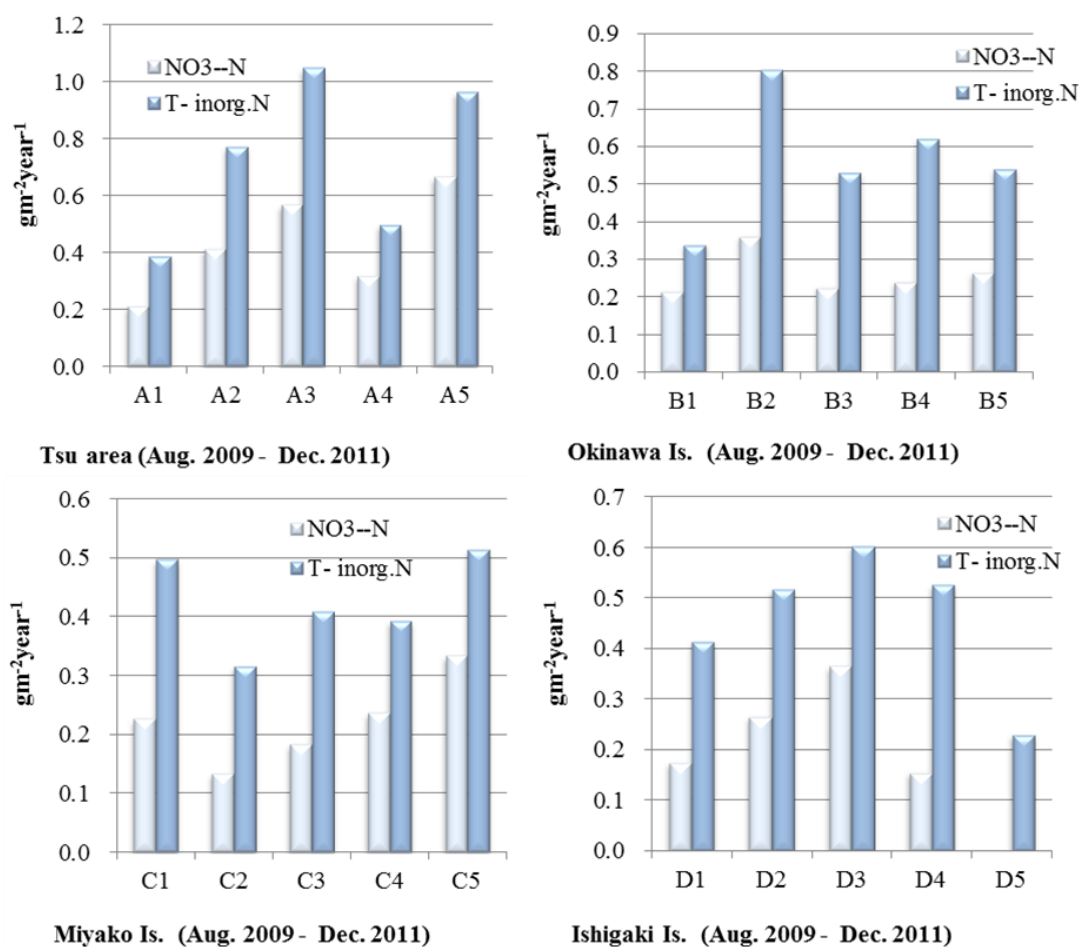


Fig. 12. The amount of NO₃-N and total inorganic nitrogen trapped in aerosol gauge

3. 2 風速と海塩飛来量の関係

観測された海塩飛来量と風速との関係を解析するに当たり、まず各調査地域における風向の傾向を知るために、調査期間中に日最高風速を記録した風向の発生頻度分布図を、気象庁データを用い作成した。その結果、Fig. 13に示すように、各地域において特徴的で明瞭なパターンのあることが明らかになった。すなわち、津地域の風向は北西と南東にほぼ収束される一方、南西諸島の3地域では北～北東風と南～南東風に収束され、各調査地域の典型的風向は二大別されることが示された。

このことから、北風系が優勢となった採取期間(主に秋・冬期)に全調査地点(25地点)で測定されたNa⁺捕捉量とその採取期間中における日平均風速、日最大風速、日瞬間最大風速との関係を調べた。その結果、両者の関係でもっとも相関係数が高く示されたのは、Fig. 14に示したよ

うに、日平均風速の期間最大値との間で正の相関関係が認められたが、その相関係数は高くなかった。

しかしながら、各調査地点を対象に同様の関係について調べたところ、例えば Fig. 15ならびに Fig. 16に示したように、宮古島のC5地点や石垣島のD1地点など、いくつかの調査地点では、捕捉されたNa⁺量と日平均風速の期間最大値との間に高い正の相関関係が示された。

他方、台風が襲撃あるいは接近した採取期間中における日平均風速、日最大風速、日瞬間最大風速と、全調査地点(25地点)で測定されたNa⁺捕捉量との関係を調べた。その結果、北風系の解析結果と同様、Na⁺捕捉量との関係でもっとも相関係数が高く示されたのは、Fig. 17に示したように、日平均風速の期間最大値との間で正の相関関係が認められたが、その相関係数は高くなかった。

そこで台風襲撃・接近期間中を対象に調査地点別に解

析した結果、多くの地点で Na^+ 捕捉量と風速関連データとは正の相関が示された。とりわけ、**Fig. 18** ならびに **Fig. 19** に示したように宮古島や石垣島では採取期間中の最大瞬間風速と Na^+ 捕捉量との間にきわめて高い正の相関関係が示された。

以上のように、海塩飛来量と風速には強い関係があり、飛来量は風速を一つの関数として含むモデル式で示すことのできる可能性が示唆された。そこで、海岸線からの距離や標高も要因に含め解析を進めたが、残念ながら、現

在までそのモデル式の完成に至っていない。

調査期間中を含む 2009 年から 2011 年の 3 年間に各調査地域に到来した台風の数をもとめて **Table 2** に示し、また採取期間中の各台風イベント別・地点別 Na^+ 捕捉量を **Fig. 20** に示し、さらに台風イベント時の Na^+ 捕捉量を調査地域別に **Fig. 21** に示した。

これらによると、台風時における Na^+ 捕捉量は、本土の津地域約 $10 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ と比較して南西諸島では約 $40 \sim 120 \text{ gm}^2\text{year}^{-1}$ と圧倒的に多いことが示された。

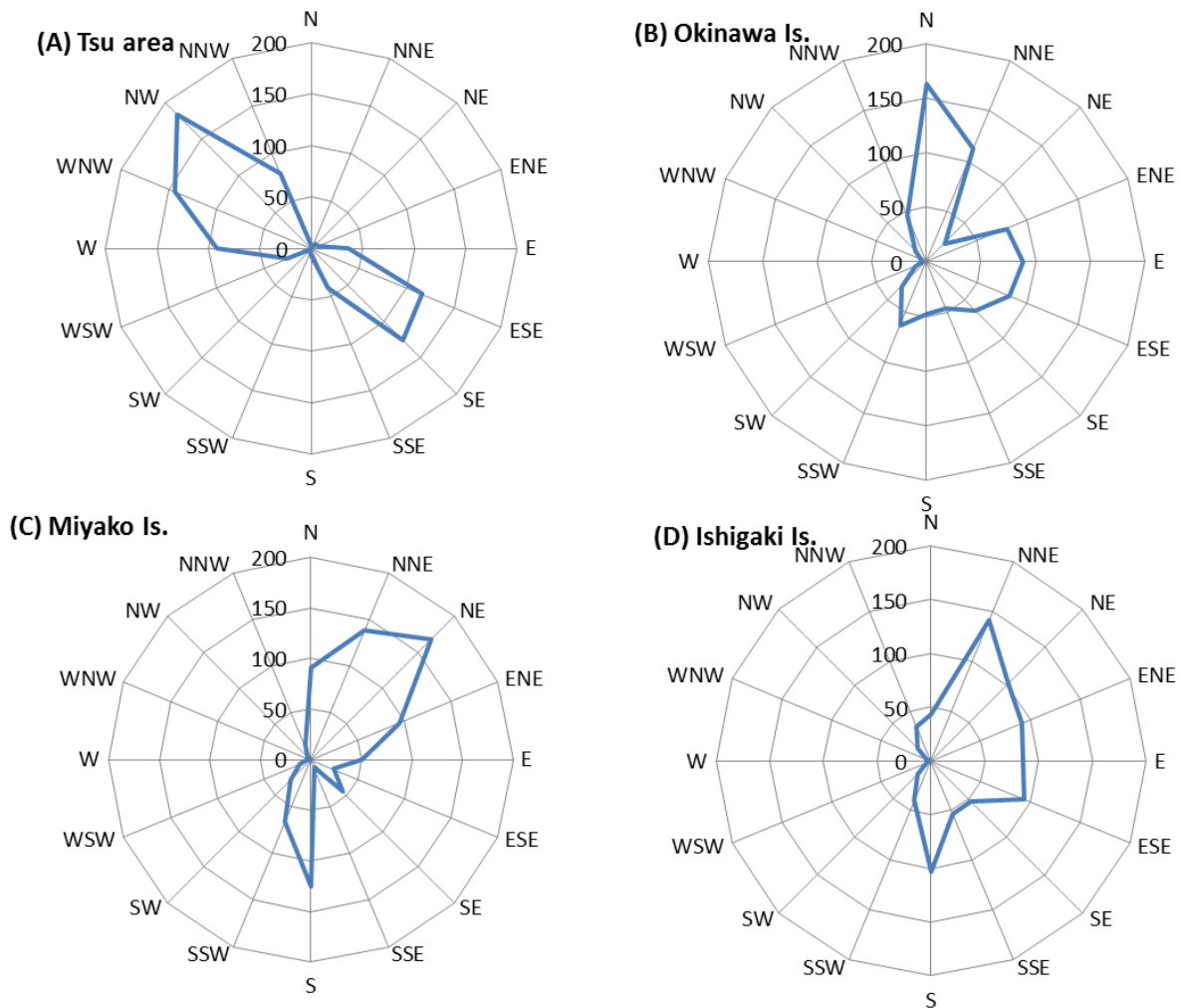


Fig. 13. Histogram of wind direction in daily maximum wind speed from Aug. 2009 to Dec. 2011

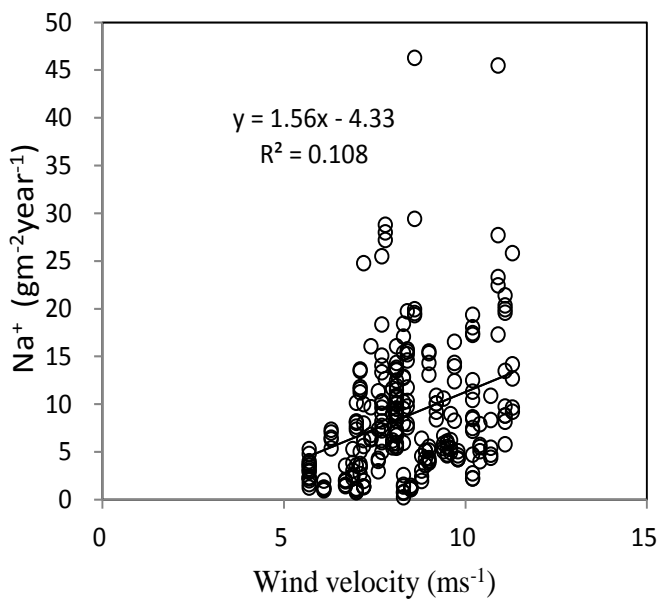


Fig. 14. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum value in daily mean wind velocities in the period when northern wind mainly blew in the study areas

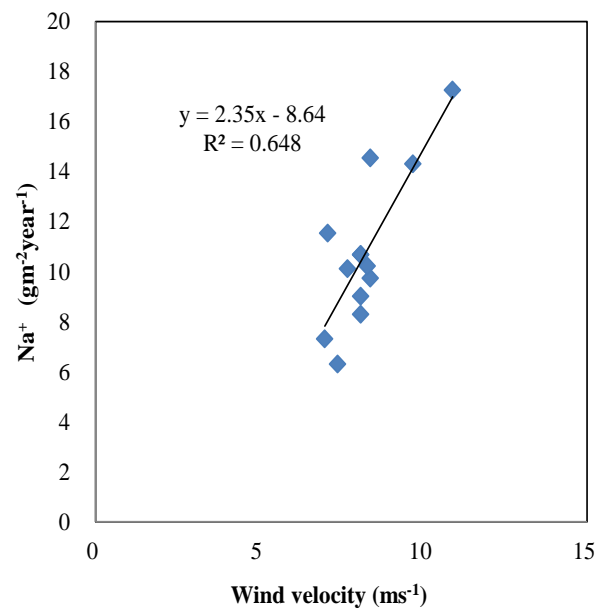


Fig. 15. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum value in daily mean velocities in the period when northern wind mainly blew at C5 on Miyako Is.

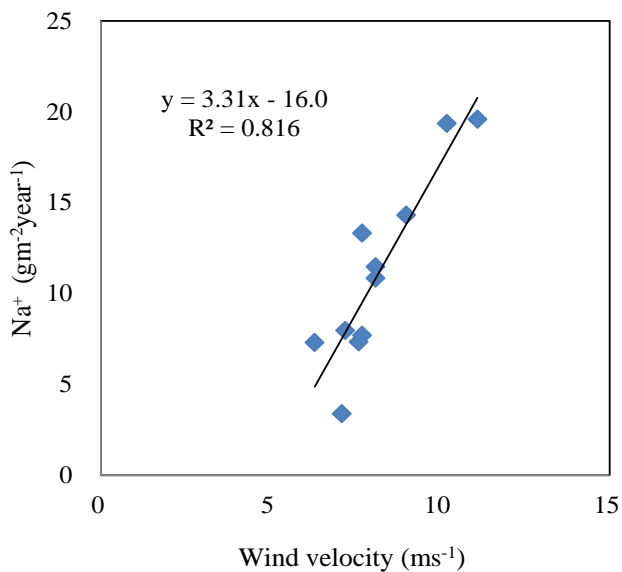


Fig. 16. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum value in daily mean wind velocity in the period when northern wind mainly blew at D1 on Ishigaki Is.

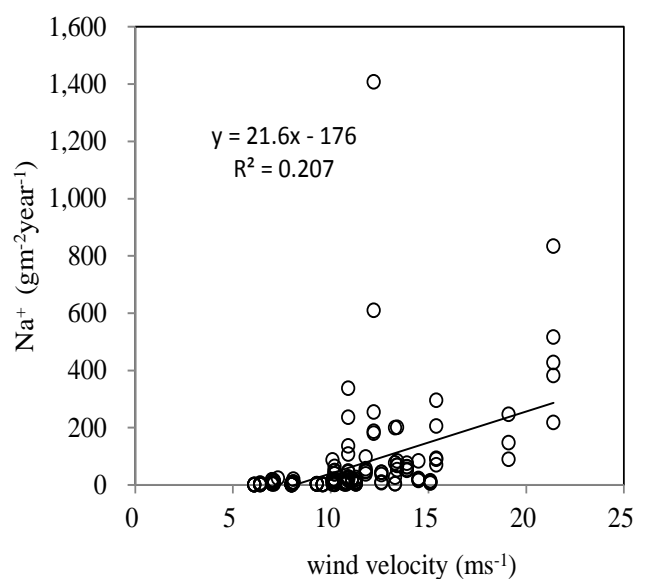


Fig. 17. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum value in daily mean wind velocity in the period when typhoon attacked the study areas

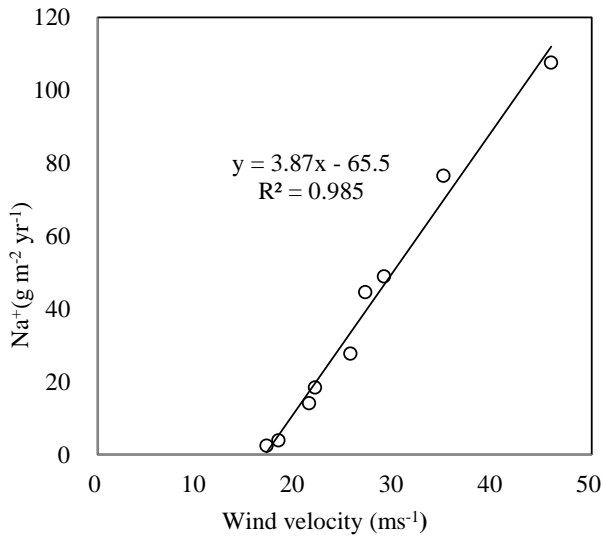


Fig. 18. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum instantaneous wind speed in typhoon events at C2 on Miyako Is.

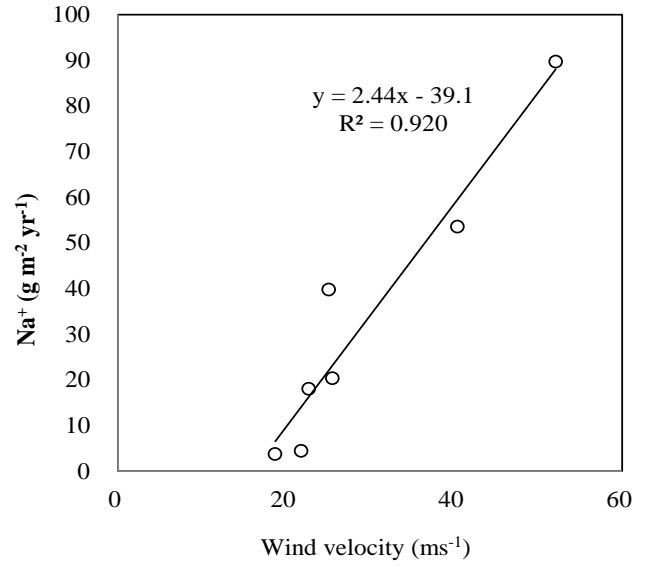


Fig. 19. Relation between the amount of trapped Na^+ and the maximum instantaneous wind speed in typhoon events at D4 on Ishigaki Is.

Table 2. Number of typhoons which attacked or approached each study area

Year/Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	
2011	Japan	0	0	0	0	2	1	1	2	4	0	0	0	10
	Tsu,Mie	0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	5
	Okinawa Is.	0	0	0	0	2	1	1	1	2	0	0	0	7
	Miyako Is.	0	0	0	0	2	1	1	0	2	0	0	0	6
	Ishigaki Is.	0	0	0	0	2	1	1	0	2	0	0	0	6
2010	Japan	0	0	1	0	0	0	2	5	4	2	0	0	14
	Tsu,Mie	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
	Okinawa Is.	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	0	6
	Miyako Is.	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	Ishigaki Is.	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3
2009	Japan	0	0	0	0	2	2	2	5	7	3	1	0	22
	Tsu,Mie	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	4
	Okinawa Is.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3
	Miyako Is.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
	Ishigaki Is.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2

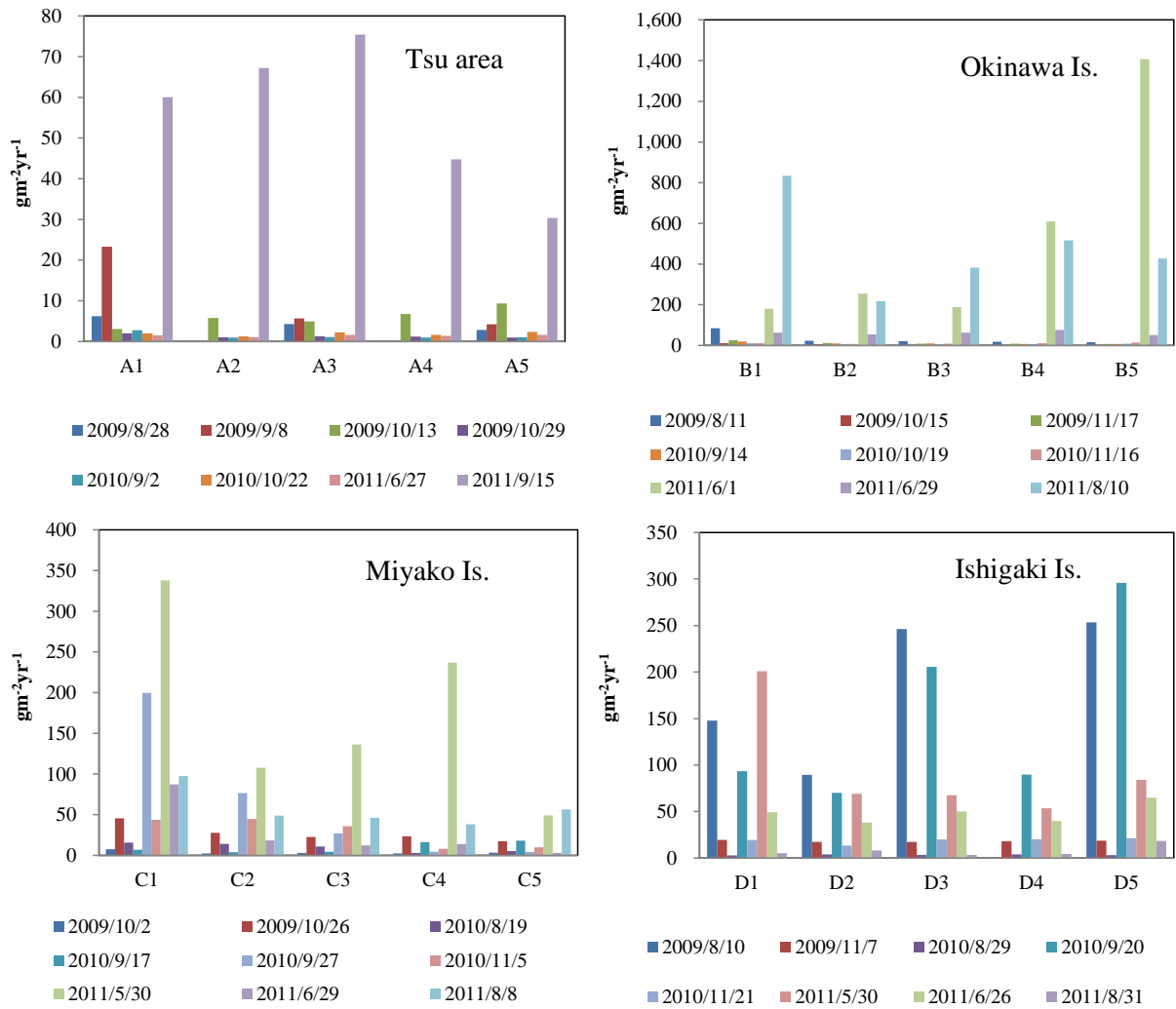


Fig. 20. The amount of trapped Na⁺ in each typhoon event

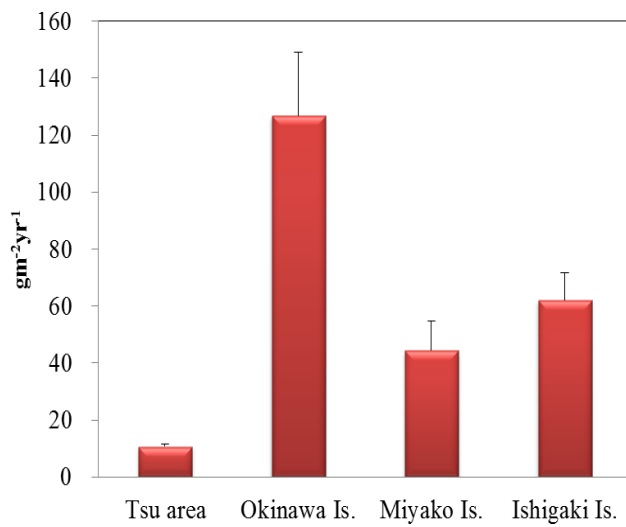


Fig. 21. The amount of trapped Na⁺ in typhoon events (Aug. 2009-Dec. 2011, mean \pm SE)

4. まとめ

海水由来作物栄養の飛来量(自然供給量)を量的に評価すること、ならびに飛来量の法則性、特に気象条件との関係を検討することを目的とし、三重県中部津市域、南西諸島の沖縄島南部、宮古島および石垣島の4地域において、ほぼ南北方向に設定したライントランセクト上の各5地点に新規開発した海水由来塩類を捕捉する装置を設置し、2009年7月から2011年12月まで調査した。試料採取回数は、津地域、沖縄島、宮古島、石垣島でそれぞれ16~19回、27回、35~36回、28~29回であった。得られた結果は以下である。

- 1) Na⁺ 捕捉量は、津地域の1.8~2.6 gm²year⁻¹に対し、沖縄島 13.9~30.7 gm²year⁻¹、宮古島 10.8~22.4 gm²year⁻¹、石垣島 10.6~16.4 gm²year⁻¹の範囲で、南西諸島の量は津地域の量に対し約5~15倍に達した。
- 2) 捕捉量から計算されたCl⁻/Na⁺比は、津地域1.766、沖縄島1.774、宮古島1.762、石垣島1.793で、標準的海水比1.798に近似した。
- 3) K⁺ 捕捉量は、津地域0.16~0.66 gm²year⁻¹、沖縄島0.48~1.16 gm²year⁻¹、宮古島0.59~1.36 gm²year⁻¹、石垣島は0.45~1.77 gm²year⁻¹であったが、K⁺/Na⁺比は、とくに津地域で海水比を大きく上回り、これらの地点では、例えば肥料や土壌などに由来するK⁺が捕捉量に加わった可能性が考えられた。
- 4) 本調査結果で捕捉されたK⁺の最大量1.77 gm²year⁻¹(石垣島)を、カリK₂Oに換算すると2.1 gm²year⁻¹となり、沖縄県のサトウキビ栽培における推奨カリ施用量4~6 gm²year⁻¹の約5割に相当することが示された。
- 5) 副産的に捕捉された硝酸態窒素量と無機態窒素総量は、津地域でそれぞれ0.21~0.67 gm²year⁻¹、0.39~1.05 gm²year⁻¹、沖縄島で0.22~0.36 gm²year⁻¹、0.34~0.80 gm²year⁻¹、宮古島で0.13~0.33 gm²year⁻¹、0.32~0.51 gm²year⁻¹、石垣島で0.16~0.37 gm²year⁻¹、0.23~0.60 gm²year⁻¹であった。
- 6) 調査期間中に日最高風速を記録した風向の発生頻度

を調べた結果、津地域の風向は北西と南西にほぼ収束される一方、南西諸島の3地域では北~北東風と南~南東風に収束され、各調査地域の典型的風向は二大別されることが示された。

- 7) 北風系が優勢となった採取期間に捕捉されたNa⁺量と日平均風速の期間最大値との関係を調べた結果、宮古島や石垣島の地点など、いくつかの調査地点では、高い正の相関関係が示された。
- 8) 台風襲撃・接近期間中におけるNa⁺捕捉量は、多くの地点で風速関連データと正の相関が示され、宮古島や石垣島では採取期間中の最大瞬間風速との間の相関係数はきわめて高かった。
- 9) 海塩飛来量は風速を一つの関数として含むモデル式で示すことのできる可能性が示唆されたが、そのモデル式の完成には至らなかった。

参考文献

- 1) 鳥羽良明、田中正昭(1967):塩害に関する基礎的研究(第1報)海塩粒子の生成と陸上への輸送モデル、京都大学防災研究所年報10(B):p331~342
- 2) 加藤央之(2005):塩分飛散予測手法の高度化(その2)、財団法人電力中央研究所, p1~17
- 3) 加藤央之、和田浩治、高橋毅(2004):塩分飛散予測手法の高度化(その1)、財団法人電力中央研究所, p1~15
- 4) 木原直人、平口博丸、高橋章、藤田慎一(2009):時間変化する気象条件を考慮できる大気中の海塩粒子濃度予測手法の開発、財団法人電力中央研究所, p1~18
- 5) 須藤仁、服部康男、平口博丸(2008):海塩粒子輸送シミュレーションによる塩分付着量推定に関する研究、財団法人電力中央研究所, p1~28
- 6) 日本エアロゾル学会(2004):エアロゾル用語集/日本エアロゾル学会、京都大学学術出版会
- 7) 沖縄県農林水産部(2006):さとうきび栽培指針

A Quantitative Study on Plant Nutrients Naturally Supplied to Agricultural Land from Seawater

Yasuhiro Nakanishi ¹, Tatsuma Matsutani ², Kiyoshi Ozawa ³, Hajime Narioka ⁴, Katsuhiko Furuie ⁵,
Takashi Ogasawara ⁵

¹ Fac. of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture,

² Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture,

³ Tropical Agriculture Research Front, Japan International Research Center for Agricultural Sciences,

⁴ Graduate School of Bioresources, Mie University, ⁵ Okinawa Environmental Research & Technology Center

Summary

In island countries or areas, it seems salts from seawater frequently fly into land and the amount in typhoon or monsoon season become larger sometimes to cause serious damages to agricultural crops, which is called *engai* in Japanese, especially in subtropical small islands such as in Ryukyu Archipelago, Japan. However, such a transfer of sea salts means a natural supply of plant nutrients contained in seawater as Mg, S, Ca, K, B to agricultural lands. In contrast with *engai*, the nutritious effect to crops by sea salts should be called *enenki*, sea salt services, in Japanese. So, this study was focused to evaluate the amount of salts transferred from seawater to land, and to try to develop a model to estimate the amount of salts under different geological and climatic conditions. This is the abstract of the final report for the three-year research in 2009 - 2011.

The measurements were carried out in the following 4 areas of Japan; Tsu area (at latitude around 34°N), the southern part of Okinawa Is (26°N), Miyako Is. and Ishigaki Is (24°N both). In each area, 5 spatially open points (on a roof of a building, mainly) were selected to set up the aerosol gauge developed for this study, made mainly of polypropylene. With using a Marriott tank, the gauge always had a settled height and area of surface (the internal diameter is 276 mm) of deionized distilled water, in which wet and dry aerosols with sea salts can be trapped.

In the period from Aug. in 2009 to Dec. in 2011, the amounts of Na⁺ trapped in the gauge were in the range of 1.8~2.6, 13.9~30.7, 10.8~22.4 and 10.6~16.4 gm²year⁻¹ in Tsu, Okinawa, Miyako and Ishigaki, respectively. The ratios of Cl⁻/Na⁺ in each area were 1.766, 1.774, 1.762 and 1.793, comparing to that of seawater, 1.798. The amounts of trapped K⁺ were 0.16~0.66, 0.48~1.16, 0.59~1.36 and 0.45~1.77 gm²year⁻¹. The maximum amount of K⁺, 1.77 gm²year⁻¹, correspond to almost the half amount of K⁺ required for annual sugarcane cultivation in Okinawa area. The amounts of trapped NO₃⁻-N and total inorganic nitrogen were 0.21~0.67 and 0.39~1.05; 0.22~0.36 and 0.34~0.80; 0.13~0.33 and 0.32~0.51; 0.16~0.37 and 0.23~0.60 gm²year⁻¹, respectively. The amount of Na⁺ trapped in typhoon events had high positive correlation with the maximum spontaneous wind speed at some survey points on Miyako and Ishigaki islands.

希釈海水を用いたニホンナシ、リンゴ栽培方法の確立 ～台木の耐塩性メカニズムの解明～

松本 和浩¹, 田村 文男², 荒川 修³, 副島 淳一⁴

¹ 弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場,

² 鳥取大学農学部, ³ 弘前大学農学生命科学部, ⁴ 果樹研究所

概要 本研究ではまず、リンゴにおける耐塩性台木の選抜を行った。その上で、ニホンナシ、リンゴ兩種において塩ストレス下での根の伸長阻害の緩和法を明らかにした。

マルバカイドウ、青台3、JM1、JM2、JM7の5種のリンゴ台木種に0、50、100、150 mMのNaCl溶液を灌水し耐塩性の強弱を調査した。JM2は150 mMのNaCl溶液を処理しても葉に1割程度の障害しか発生しなかった。Stem water potential値の低下も少なかったことから、浸透圧ストレスを受けにくく、植物体内の水分状態を適切に保持する能力に優れることが示唆された。また、NaおよびClの蓄積も少ないことから強い耐塩性を有すると考えられた。一方、マルバカイドウおよびJM1は150 mMのNaCl処理により半数以上の葉が枯死し、NaおよびClの蓄積も他の台木種に比べて多かったことから耐塩性が弱いと考えられた。マルバカイドウは50 mM程度の低濃度のNaCl処理を行った場合は葉の障害発生が少なく、新梢伸長量も旺盛であった。したがって、マルバカイドウは高濃度の塩ストレスには弱い、低濃度の塩ストレスには比較的強い耐性を示すと考えられた。本研究における最終的な耐塩性の強弱はJM2>青台3>JM7>マルバカイドウ>JM1の順となった。

NaCl溶液にCaCl₂を添加し、根の伸長阻害に与える影響を調査したところNaCl濃度が同一の場合、CaCl₂濃度の上昇とともに伸長量は増大し、CaCl₂濃度が同一の場合はNaCl濃度の低下とともに伸長量は増加した。これは、ナシおよびリンゴ台木種ともに同様の傾向であった。また、CaCl₂添加により根内部へのNaの吸収とKの流出が抑制された。つまり、NaClストレス下における根の伸長阻害は主としてNaの害により細胞膜の選択透過性が破壊され根からKが流出し、Naが侵入することによって起こることが示唆された。また、Caはこの選択透過性の維持に働き、根が受けるNaClストレスを軽減する可能性が示された。

総括として、希釈海水を用いてニホンナシおよびリンゴ栽培を行う場合には台木としてニホンナシの場合はマンシュウマメナシを、リンゴの場合はJM2を用いることが適当であるものと考えられた。これは、東日本大震災で津波被害を受けた地域および今後津波等の被害を受ける可能性がある地域でも同様に両台木種を用いることにより、塩ストレスの被害を受けにくいものと考えられた。もちろん、これらの台木種を用いれば直ちに良質な果実を収穫できるわけではないので、CaCl₂添加による根の伸長阻害の軽減技術や適切な整枝せん定、肥培技術を組み合わせて栽培方法を工夫してゆく必要がある。

1. 研究の背景と目的

日本で育種された果物はみずみずしく甘味が強い、申請者が所属する藤崎農場の前身の農林省園芸試験場東北支場で育種されたリンゴ‘ふじ’が世界で最も生産量

の多いリンゴ品種になった例でも明らかなように、世界の生産者が注目している(O'Rourkeら, 2003)。特に乾燥地では果物の消費量も多く、栽培導入への関心が高い。しかしながら、湿潤な日本に適した品種群を乾燥地で生

産することは非常に難しく、乾燥、塩など様々なストレスに対処した栽培法の確立が求められている。

イスラエル等の乾燥地域の国々では、貴重な真水を農業に使用することができないため、海水や生活排水など、塩類を多量に含む水を灌漑水として活用する研究が進められてきた。その結果、一般に耐塩性が弱いとされる「果樹類」においても、適切な台木を用いることにより高品質果実を生産することが可能であることが明らかになりつつある(Bernstein, 1965)。つまり、希釈海水など塩分濃度の高い水を果樹栽培に用いるためには、第一に適切な耐塩性台木を選抜すること、第二に塩ストレスの緩和法を明らかにすることが重要である。

申請者は、イスラエルにおける果樹栽培の研究経験をもとに、ニホンナシ台木の耐塩性に関する研究を進め、マンシュウマメナシ(*Pyrus betulaefolia* Bunge)の耐塩性が最も強く(Matsumoto ら, 2006 a)、穂木品種を接いだ場合も地上部への塩の移動を抑制するため、葉に障害が発生しないことを明らかにした(松本ら, 2007; Matsumoto ら, 2008)。また、地中海沿岸原産ナシ台木種はさらに強い耐塩性を有しており、育種素材として有望であることを示した(Matsumoto ら, 2006 b)。

これらの研究により、ニホンナシにおいては、耐塩性台木の選抜が進んでおり、第二段階である塩ストレスの緩和法の開発が必要であると言えよう。

一方、リンゴについては世界中で広く栽培されているにもかかわらず、耐塩性台木の研究がほとんど行われておらず、わずかに本杉ら(1987)の M 系台木品種の耐塩性を評価した研究があるにすぎない。特に、近年日本において選抜され、日本国内では普及が進んでいる新リンゴ台木品種であるJM系、青台系リンゴ台木品種については、耐塩性の台木間差異が全く明らかになっていない。この様に、リンゴにおいて希釈海水を用いた栽培を行う場合、まず、第一段階である適切な耐塩性台木の選抜を行う必要がある。

このように、ニホンナシおよびリンゴの塩ストレスに対する研究段階が上記の様な現状であることから、本研究ではまず、リンゴにおける耐塩性台木の選抜を行った。その上で、ニホンナシ、リンゴ両種において塩ストレスの緩和法、特に塩ストレス下での根の伸長阻害の緩和法を明らかにした。

この様な研究を行っている最中の 2011 年 3 月 11 日、不幸にも申請者が研究拠点を置く東北地域が大震災に見舞われ、青森県、岩手県、宮城県の沿岸地域にあるリンゴ園、ナシ園も津波による大きな被害を受けた。本研究の当初の目的では津波被害への対策は含まれていなかったが、海水を用いたニホンナシ、リンゴの栽培方法を考える上で必要であった耐塩性台木の選抜および塩ストレスの緩和方法は、津波被害への対策としても十分に応用できる内容を含んでいるものと考えられる。そこで、本研究の考察の一部では、津波による被害を受ける可能性のある地域あるいは既に受けた地域でニホンナシおよびリンゴを栽培するための対策についても言及した。本研究が被災地の復興に少しでも役立つことを願っている。

2. 研究方法

2.1 NaCl 処理がリンゴ台木種の耐塩性の種間差異に及ぼす影響

実験には野村園芸農場(五戸, 青森)より購入した 1 年生のマルバカイドウ、青台 3、JM1、JM2、JM7 の 5 品種のリンゴ台木を用いた。2011 年 4 月に各台木を川砂およびパーライト 500 ml を充填した 10 号(直径 30 cm, 約 8.4 L)素焼きポットに植え付けた後、根元から 25 cm のところで切り返した。処理開始までは適宜水道水を灌水し、降雨の影響を排除するため無加温ハウス内で管理した。処理区は水道水を対照区として、50 mM、100 mM および 150 mM の NaCl 溶液を処理する 3 処理区を設け(n=4)、品種間の新梢成長が揃った 6 月 29 日から 8 月 3 日までの 35 日間、1 日 500 ml を基準として処理を行った。

新梢伸長量は主幹から伸長している新梢のうち最も上部に位置する 2 本の新梢基部から先端までの長さを 5 日毎に計測し、計測開始時からの新梢長の差異から新梢の伸長量を求めた。

葉の障害程度は本杉ら(1987)の方法に準じ視覚的に調査し、0(健全)、1(全葉の 1 割程度に葉焼けまたは落葉)、2(全葉の 3 割程度に葉焼けまたは落葉)、3(全葉の 5 割程度に葉焼けまたは落葉)、4(全葉の 8 割程度に葉焼けまたは落葉)、5(全て枯死または落葉)の 6 段階で評価した。調査は 7 日毎に行った。

サンプリングおよび各部位の新鮮重の測定は以下の様に行った。処理終了後、植物体を掘り起こし、葉、枝(主幹

から伸長した新梢)、幹(地上部に位置する主幹 25 cm)、根幹(地下部に位置する主幹)、細根(根幹から伸張している根)に分けてサンプリングした。葉、枝、幹は新鮮重を測定後、洗浄した。洗浄方法は、まず水道水で表面の付着物を洗い流し、次いで水道水に界面活性剤を混ぜた溶液で農薬などの汚れを落とし、界面活性剤を洗い流すため再度水道水で洗浄した。その後、1% HCl 溶液で濯ぎ、最後に 1% HCl 溶液を洗い流すため蒸留水で洗浄した。根幹と細根は上記の洗浄方法で洗浄後、新鮮重を測定した。

各部位の乾物重の測定は以下の方法で行った。葉、枝、幹、根幹、細根の新鮮重を測定後、サンプルを 78°C の恒温乾燥機で 72 時間以上乾燥した。その後、質量を計測し乾物重とした。

Stem water potential の測定は McCutchan・Shackel (1992) の方法に準じて行った。まず、7:30 に新梢のうち最も上部に位置する新梢の中間部の葉を選択し、プラスチックバックを被せ、葉の蒸散を防止した。さらにその上をアルミ箔で覆い気温の上昇を抑え、そのまま 3 時間以上静置し、植物体全体の水ポテンシャルと個葉の水ポテンシャルとを平衡化した。その後摘葉し、直ちに水ポテンシャル測定装置 (Model 600, PMS Instrument Company, Oregon, U.S.A.) を用いて水ポテンシャルを測定し、Stem water potential 値とした。測定は 7 日毎の 11:30~13:00 に行った。また、測定に用いた葉は新鮮重を測定後洗浄し、78°C の恒温乾燥機で 72 時間以上乾燥した。乾燥した葉は無機成分の経時的变化の測定に用いた。

根の TTC 活性の測定は二見 (1990) の報告にあるトリフェニルテトラゾリウムクロライド (TTC) 法を用いて行った。採取した細根 500 mg を洗浄後、試験管に入れ、0.1% TTC を含む 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.0) に浸漬した。これを暗所に置いた 30°C の恒温水槽内で 2 時間静置した後、2 ml の 2 N H₂SO₄ を加え反応を停止させた。根を取り出し水分をろ紙で拭き取った後、5 ml の酢酸エチルと海砂とともに乳鉢中で摩砕した。この摩砕液から酢酸エチル層を採取後、分光光度計 (U-1900, 日立, 東京) により波長 470 nm の吸光度を測定し、検量線からフォルマザン生成量を算出した。さらにフォルマザン生成量をサンプル量 0.5 g × 反応時間 2 h で除すことにより根活性を求めた。

葉の SPAD 値の測定は新梢のうち最も上部に位置する

新梢の中間部の葉を選択し、SPAD-502 クロロフィルメーター (Minolta Crop., Japan) を用い計測した。測定は NaCl 処理後 35 日目に行った。

無機成分分析は以下の方法で行った。葉、細根の乾燥サンプルはコーヒーマルで、枝、幹、根幹の乾燥サンプルは連続式ミル (MF10, IKA, Germany) で粉碎し、測定試料として用いた。Na, K, Mg, および Ca 含量を測定するため大山ら (1991) の報告にある硫酸一過酸化水素ケルダール分解法を用いて湿式灰化を行った。粉末サンプル 50 mg を試験管にとり、濃硫酸 1 ml を加え 12 時間静置し、その後、合計 9 ml の 30% 過酸化水素を加えつつ、サーモアルミバス (ALB-221, サイニクス, 東京) を用いて 200°C で 3 時間溶液が完全に透明になるまで加熱した。その後、蒸留水で定容し、測定に用いた。測定は偏光ゼーマン原子吸光光度計 (Z-2000, 日立, 東京) を用いて行った。

Cl 含量の測定は Iwasaki ら (1956) の報告にあるチオシアン酸水銀一鉄法を用いて行った。粉末サンプル 50 mg を 15 ml 容コニカルチューブにとり、1 N 酢酸 10 ml を加え、ボルテックスで混合した後、超音波洗浄機 (USK-5R, アズワン, 大阪) で 10 分間振とうした。その後、室温で 12 時間静置し、上清 1 ml を高速遠心分離器 (MC-150, トミー精工, 東京) で遠心分離した上澄みをサンプル溶液とした。試験管に 950 μ l の蒸留水をとって 50 μ l のサンプル溶液を加えた、さらに 0.417% のチオシアン酸水銀溶液 200 μ l、0.5 M 硝酸鉄溶液 100 μ l を加え、試験管をボルテックスで混合し、室温で 20 分間静置した後、分光光度計 (U-1900, 日立, 東京) を用いて波長 460 nm における吸光度を測定した。

2.2 カルシウムによる NaCl ストレス条件下のナシ台木種の根の伸長阻害の軽減

実験には *Pyrus pyrifolia* の種子を用いた。種子は鳥取大学農学部附属大塚農場で採取し、調整後、実験に用いるまで室温 1°C の低温庫内に層積法で保存した。実験に際し、種子を 1,000 倍 (v/v) に希釈したトップジン M 水和剤 (日本曹達, 東京) で消毒し、蒸留水で洗浄した。種子を湿らせたペーパータオルを敷いたプラスチック容器内に播種し、27°C の暗黒下で発芽させた。発芽後、根長 (胚軸を含む) が一定の大きさになった発芽種子を実験に用いた。

立方体形のガラス容器に 200 ml の溶液を入れ、穴を開けた薬包紙を種子が水面上に出るよう調節し、主根を溶液中に浸漬した。容器にはガラス製のふたを乗せ、湿度および気温の変動を最小限にとどめた。実験は昼／夜長 = 2/22 hr に調節した 27°C の恒温室内で行った。

実験は蒸留水を対照区として行った。NaCl ストレスに対する CaCl₂ 添加の効果进行调查する実験では、20 mM、40 mM または 100 mM の NaCl 溶液に 0.1 mM、0.5 mM または 5.0 mM の CaCl₂ を添加し根の伸長量の違いを調査した。また、溶液の浸透圧が根の伸長に与える影響を調査するため、20 mM、40 mM または 100 mM の NaCl 溶液と同等の浸透圧に調整したマンニトール溶液 (40 mM、80 mM または 200 mM) においても実験を行った。

塩の種類による CaCl₂ 添加効果の差異を調査する実験では、25 mM または 100 mM の NaCl 溶液、25 mM または 100 mM の KCl 溶液、12.5 mM または 50 mM の Na₂SO₄ 溶液に 0.1 mM または 5.0 mM の CaCl₂ を添加し根の伸長量の違いを調査した。

NaCl または KCl ストレスがそれぞれ KCl または NaCl 添加によって緩和されるか否かを調査する実験では、25 mM または 100 mM の NaCl 溶液または KCl 溶液に 0.1 mM または 5.0 mM の KCl または NaCl を添加し、根の伸長量の違いを調査した。

根の伸長量は処理 4 日後まで毎日測定し、測定時に各溶液を新しいものに交換した。各伸長量の値は 7 個体の平均で示した。処理終了後、種子 (子葉となる部分) を取り除き胚軸および幼根を無機成分分析に供した。

処理区ごとに 7 個体の胚軸および幼根をまとめて新鮮重を測定した後、15 ml 容プラスチック試験管に 8 ml の蒸留水とともに入れ、分析に用いるまで -20°C の冷凍庫内に凍結保存した。

抽出は沸騰した熱湯に 30 分間浸漬し、解凍することで行った。得られた水溶液の上清を抽出液とし、抽出液中の Na、K、Mg および Ca 含量を原子吸光光度計 (170-30, 日立, 東京) を用いて測定した。

2.3 カルシウムによる NaCl ストレス条件下のリンゴ台木種の根の伸長阻害の軽減

実験 3-1、実験 3-2 にはマルバカイドウの種子を用いた。種子は 2009 年 11 月に弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場に植栽されている

20 年生マルバカイドウより採取した。実験 3-3 にはマルバカイドウ、M9、エゾノコリンゴおよびズミ (*Malus sieboldii* Rehder) の種子を用いた。種子は 2010 年 11 月弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場に植栽されている 20 年生マルバカイドウ、54 年生 M9、54 年生エゾノコリンゴ、54 年生ズミより採取した。調整後、種子を 500 倍に希釈したベンレート水和剤 (住友化学, 東京) で消毒し、実験に用いるまで 1°C の低温庫内に層積法で保存した。

実験に際し、種子を湿らせたペーパータオルを敷いたシャーレ内に播種し、27°C の暗黒下で発芽させた。発芽後、根長 (胚軸を含む) が一定の大きさになった発芽種子を実験に用いた。

立方体形のガラス容器に 150 ml の溶液を入れ、穴を開けた薬包紙を種子が水面上に出るよう調整し、主根を溶液中に浸漬した。容器はガラス製のふたを乗せ、湿度および気温の変動を最小限にとどめた。実験は昼／夜 = 2/22 hr に調節した 27°C の恒温室内で行った。

実験 3-1 では蒸留水を対照区とし、20 mM、40 mM または 80 mM の NaCl 溶液にそれぞれ 0.1 mM、0.5 mM または 1.0 mM の CaCl₂ を添加し、根の伸長量の違いを調査した。反復は各処理区 7 個体で行った。

実験 3-2 では、塩の種類による CaCl₂ 添加効果の差異を調査した。25 mM または 100 mM の NaCl 溶液、25 mM または 100 mM の KCl 溶液、12.5 mM または 50 mM の Na₂SO₄ 溶液にそれぞれ 0.1 mM または 1.0 mM の CaCl₂ を添加し根の伸長量の違いを調査した。反復は各処理区 7 個体である。

実験 3-3 では、蒸留水を対照区とし、25 mM、50 mM および 100 mM の NaCl 溶液にそれぞれ 0.1 mM、0.5 mM および 1.0 mM CaCl₂ を添加し、根の伸長量の違いを調査した。反復は各処理区 7 個体で行った。

根の伸長量は処理 3~4 日後まで毎日測定し、溶液は測定毎に新たに交換した。各伸長量の値は 7 個体の平均で示した。処理終了後、種子 (子葉となる部分) を取り除き胚軸および幼根を無機成分分析に供した。

無機成分含量の測定は以下の方法で行った。処理区ごとに 7 個体の胚軸および幼根をまとめて新鮮重を測定した後、15 ml 容のプラスチック容器に 8 ml の蒸留水と共に入れ、分析に用いるまで -20°C の冷凍庫内に凍結保存し

た。沸騰した熱湯に 30 分間浸漬し解凍することで得られた水溶液の上清を抽出液とし、抽出液中の Na、K および Ca 含量を ICP 発光分光分析装置 (SPS 1500, セイコー, 千葉) を用いて測定した。Cl 含量は Iwasaki ら (1956) のチオシアン酸水銀-鉄法を用い、分光光度計 (U-1900, 日立, 東京) を用いて測定した。

3. 研究結果

3.1 NaCl 処理がリンゴ台木種の耐塩性の種間差異に及ぼす影響

新梢伸長量はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少した。対照区をみると伸長量はマルバカイドウ > JM1 > JM2 > 青台 3 > JM7 の順で大きかった。50 mM 区におけるマルバカイドウの伸長量は他台木種の 50 mM 区と比べて大きかったが、100 および 150 mM 区では著しく減少した (第 1 図)。対照区においてマルバカイドウに次いで大きかった JM1 の伸長量は NaCl 処理により著しく減少した。また、対照区の伸長量に対する各処理区の伸長率を折れ線グラフで示した (第 1 図)。マルバカイドウの伸長率をみると、伸長量と同様に 50 mM 区においては同じ処理濃度区の他台木種と比べ高い値を示したが、100 および 150 mM 区では同じ処理区の他台木種と同様に著しく低下した。一方、JM1 は NaCl 処理区において伸長率が著しく低下しており、他台木種と比べても低い値を示した。JM2、青台 3 および JM7 の NaCl 処理区における伸長率は各処理濃度ともに同程度であった (第 1

図)。

葉の障害程度はいずれの台木種においても NaCl 処理により増加した。しかし、JM2 は 50、100 および 150 mM 区において障害が全葉の 1 割程度であり、同じ処理濃度区の他台木種と比べ葉の障害程度が少なかった。青台 3 および JM7 は 50、100 mM 区において障害が全葉の 1 割程度であったが、150 mM 区では全葉の 2~3 割程度に障害が発生した。一方、マルバカイドウおよび JM1 は 50、100 mM 区において障害が全葉の 1 割程度であった。しかし、150 mM 区では処理後 15 日目から徐々に障害程度が上昇し、35 日目には全葉の半分以上の葉で障害が発生した。葉の障害はいずれの台木種も下部にある新梢の先端部付近の葉から発生し、次いで上部にある新梢の先端部付近の葉に障害が発生した。その後は徐々に新梢先端部から基部へと障害が広がった。障害は葉の辺縁部から発生し、その後葉脈間へと広がった。

葉の新鮮重はいずれの台木種も NaCl 処理濃度の上昇にともない減少する傾向がみられた。マルバカイドウは 50 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ値が大きかったが、100 および 150 mM 区では同じ処理濃度区の他台木種と値が同程度であった。JM1 は NaCl 処理区において他台木種に比べ新鮮重が小さかった。50、100 および 150 mM 区における JM2、青台 3、JM7 の新鮮重は同程度であったが、対照区の値は JM2 でやや大きかった。

枝の新鮮重はいずれの台木種も NaCl 処理濃度の上昇

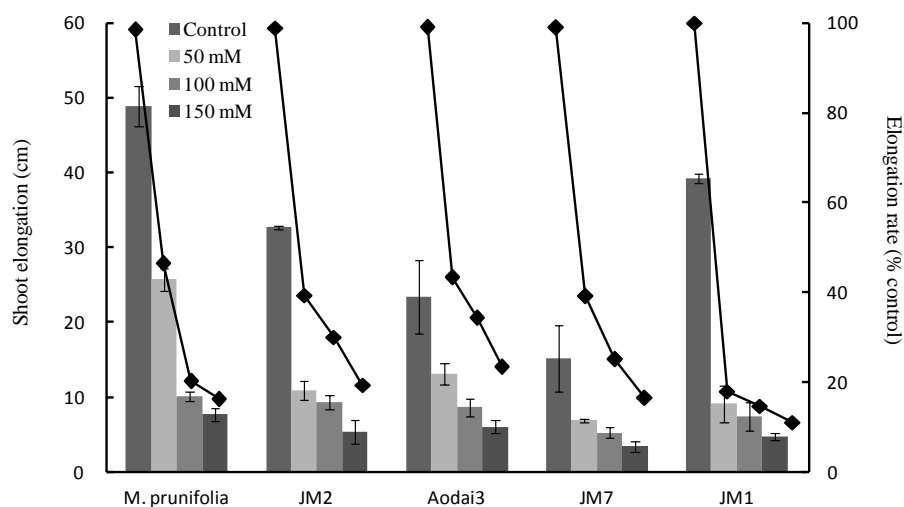


Fig. 1. Effect of NaCl treatment on the growth of shoot of *Malus* rootstocks. Values are the means of four replications. The bar graphs indicated actual shoot elongation (cm). The line graphs indicated comparative elongation rate (% control).

にともない減少する傾向がみられた。マルバカイドウは伸長量が大きいため対照区および 50 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ新鮮重の値が大きかった。その他の台木種はほぼ同程度の新鮮重であり、品種間差異はなかった。

幹の新鮮重は JM2 以外の台木種において NaCl 処理濃度の上昇にともない減少する傾向がみられた。しかし、JM2 は 50 および 100 mM の NaCl 処理を行っても新鮮重が減少しなかった。幹の新鮮重は葉や枝の新鮮重とは異なり NaCl 処理による減少程度が少なかった。

根幹の新鮮重はいずれの台木種においても NaCl 処理により減少しなかった。JM2 はいずれの処理区においても新鮮重の値が比較的大きく、JM7 および JM1 はいずれの処理区においても新鮮重の値が比較的小さな傾向を示した。

細根の新鮮重はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少した。マルバカイドウおよび JM2 は 50、100 mM 区において新鮮重の値が比較的大きかった。一方、JM1 は対照区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ新鮮重の値が小さかったが、150 mM 区では同時処理濃度区の他台木種と同程度であった。

葉の乾物重はいずれの台木種においても NaCl 濃度の上昇にともない減少する傾向を示した。マルバカイドウおよび JM2 は 100 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ乾物重の値が大きかった。

枝の乾物重はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少した。しかし、JM1 は NaCl 処理による乾物重の減少程度が少なかった。マルバカイドウは対照区、50 および 100 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ乾物重の値が大きかった。

幹の乾物重はマルバカイドウ、JM2 および JM1 において NaCl 処理濃度の上昇にともない減少する傾向を示した。青台 3 および JM7 は 50、100 mM 区において NaCl 処理濃度の上昇にともない乾物重が減少したが、150 mM 区では乾物重が 50 mM 区と同程度の値に増加した。

根幹の乾物重はいずれの台木種においても NaCl 処理により減少しなかった。細根の乾物重はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少したが、品種間差異はなかった。

Stem water potential はいずれの台木種においても

NaCl 処理濃度の上昇にともない低下した。マルバカイドウ、次いで JM2 は Stem water potential 値の低下が他台木種と比べて少なかった。一方、JM7 および JM1 は 150 mM 区において処理後 14 日目から Stem water potential 値の低下が著しく、同じ処理濃度区の他台木種と比べ低い値を示した。JM1 の 100 mM 区は処理後 35 日目において同じ処理濃度区の他台木種と比べ低い値を示した。青台 3 は 150 mM 区において処理後 7 日目から Stem water potential 値が著しく低下したが、処理後 21 日目からは横ばい状態となった(第 2 図)。

根の TTC 活性はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない低下したが、NaCl 処理区における品種間差異はなかった。根系が貧弱な JM1 は対照区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ低い値を示したが、NaCl 処理区では他台木種と同程度であった。

葉の SPAD 値はマルバカイドウ、JM2、JM7 および JM1 において 150 mM の NaCl 処理により低下した。青台 3 の SPAD 値は 100 および 150 mM の NaCl 処理により低下した。しかし、品種間の差異はなかった。

葉の Na 含量はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない増加し、100 および 150 mM 区においては処理後 21 日目から急激に Na 含量が増加した。処理後 14 日目におけるマルバカイドウの 150 mM 区は同じ処理濃度区の他台木種と比べ Na 含量が多く、早期からの蓄積がみられた。処理後 35 日目におけるマルバカイドウの 150 mM 区は同じ処理濃度区の他台木種に比べ Na 含量が多かったのに対して、JM2、次いで青台 3 の 150 mM 区は同じ処理濃度区の他台木種に比べ Na 含量が少なかった(第 2 図)。

枝の Na 含量はいずれの台木種も NaCl 処理濃度の上昇にともない増加した。JM1 は 50 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種に比べ Na 含量が少なかった。100 および 150 mM 区における Na 含量の品種間差異はなかった。

幹の Na 含量は JM2、青台 3、JM7 および JM1 において NaCl 処理濃度の上昇にともない増加した。マルバカイドウは NaCl 処理により Na 含量が増加したが、NaCl 処理区間ではいずれの処理濃度においても 300 mmol・kg⁻¹DW 程度と同様の値を示した。マルバカイドウの 50 mM 区は同じ処理濃度区の他台木種と比べ Na 含量が高

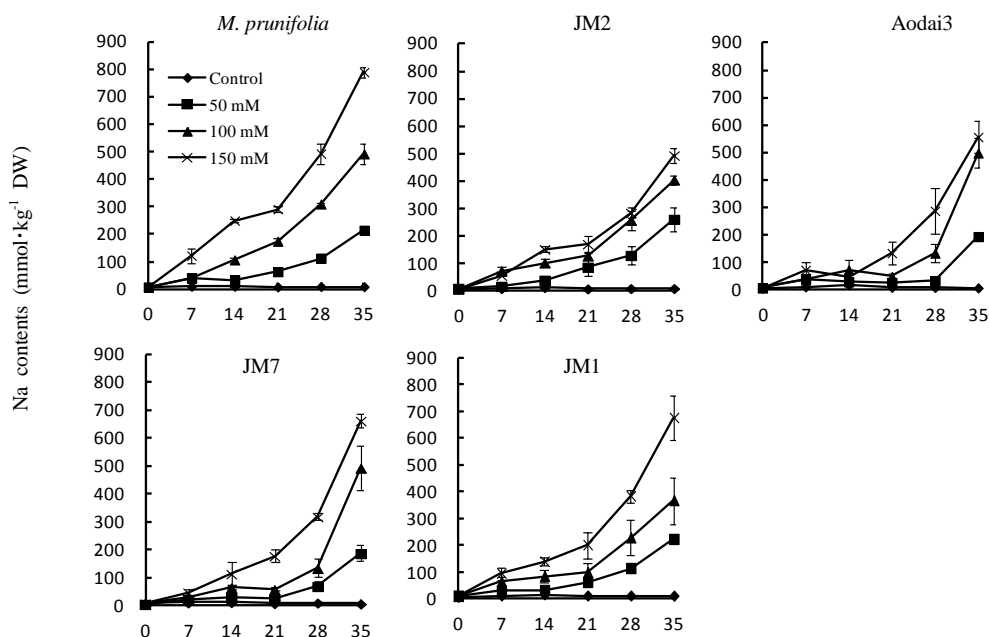


Fig.2. Effect of NaCl treatment on leaf Na content of *Malus* rootstocks. Vertical bars indicate the standard error of the mean for four plants.

かった。一方、JM2は100 mM区において同じ処理濃度区の他台木種と比べNa含量が少なかった。

根幹のNa含量はマルバカイドウ以外の台木種でNaCl処理濃度の上昇にともない増加した。マルバカイドウのNa含量はNaCl処理により増加したが、NaCl処理区間ではいずれの処理濃度においても120~150 mmol·kg⁻¹ DW程度と同様の値を示した。マルバカイドウの50 mM区は同じ処理濃度区の他台木種と比べNa含量が多かった。

細根のNa含量はいずれの台木種においても50 mM区で最大になり、100および150 mM区ではNaCl処理濃度の上昇にともない減少した。しかし、各処理区における品種間差異はなかった。

対照区の葉のCl含量はいずれの台木種においても処理後21日目まで減少し、その後は増加する傾向を示した。50および100 mM区はいずれの台木種においても処理後21日目までほぼ横ばいとなり、その後上昇したが、100 mM区は50 mM区に比べ高い値を示した。処理後7日目をみるとマルバカイドウおよびJM1は150 mM区において対照区と比べCl含量が増加していた。処理後14および21日目をみるとマルバカイドウ、JM7およびJM1は150 mM区において対照区と比べCl含量が増加していたが、JM2および青台3は150 mM区におけるCl含量が対照

区と同様の値を示した。処理後27日目ではいずれの台木種も150 mM区においてCl含量が増加した。処理後35日目におけるJM2の150 mM区は同じ処理濃度区の他台木種と比べCl含量が少なかった。

枝、幹および根幹のCl含量はNaCl処理濃度の上昇にともない増加したが、品種間差異はなかった。細根のCl含量は50または100 mM区で最大になり、その後はNa含量と同様にNaCl処理濃度の上昇にともない減少する傾向を示したが、品種間差異はなかった。

葉、幹および根幹でのK含量はいずれの台木種においてもNaCl処理にともなう一定の傾向を示さなかった。NaCl処理区における枝のK含量はいずれの台木種においても対照区と比べ減少したが、NaCl処理区間における差異はなかった。細根のK含量はいずれの台木種においてもNaCl処理濃度の上昇にともない減少した。JM2は50 mM区において同じ処理濃度区の他台木種と比べK含量が多かった。

葉のK/Na比はいずれの台木種においてもNaCl処理濃度の上昇にともない減少した。いずれの台木種も対照区ではK/Na比が70前後であったのに対し(データ未掲載)、NaCl処理区ではその1/20以下となった。マルバカイドウおよびJM1の150 mM区は同じ処理濃度区の他台木

種と比べ K/Na 比が低かった。枝の K/Na 比はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少した。JM1 は 50 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ K/Na 比が高かった。100 および 150 mM 区における品種間差異はなかった。幹および根幹の K/Na 比は JM2、青台 3、JM7 および JM1 において NaCl 処理濃度の上昇にともない減少する傾向を示した。しかし、マルバカイドウの K/Na 比は NaCl 処理により減少しなかった。JM2 および JM1 は 50、100 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ K/Na 比が高かった。細根の K/Na 比はいずれの台木種においても NaCl 処理にともなう一定の傾向を示さず、品種間差異もなかった。

葉の Mg 含量はマルバカイドウおよび青台 3 において NaCl 処理により減少した。しかし、JM2、JM7 および JM1 の Mg 含量は NaCl 処理により減少しなかった。枝の Mg 含量はいずれの台木種においても NaCl 処理により減少したが、NaCl 処理区間での差異はなかった。幹、根幹および細根の Mg 含量はいずれの台木種においても NaCl 処理濃度の上昇にともない減少する傾向がみられたが、いずれの部位でも Mg 含量の品種間差異はなかった。

葉、枝、幹、根幹、および細根の Ca 含量はいずれの台木種においても NaCl 処理にともなう一定の傾向を示さなかった。マルバカイドウは枝および根幹において、JM2 は根幹において他台木種と比べ Ca 含量が少なかった。一方、青台 3 は 100 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ幹の Ca 含量が多かった。

3.2 カルシウムによる NaCl ストレス条件下のナシ台木種の根の伸長阻害の軽減

ナシ台木種芽生えの根の伸長は NaCl 処理により著しく抑制され、処理濃度に関わらずほとんど伸長しなかった(第 1 表)。しかし、NaCl を含む培養液中に CaCl₂ を添加することにより、伸長の改善がみられた。5.0 mM の CaCl₂ を添加することにより、NaCl のみでは枯死した 20 mM、40 mM および 100 mM のいずれの NaCl 処理区でも対照区の 85% 程度の伸長がみられ、根が褐変することもなかった(第 1 表)。20 mM NaCl 処理区では 0.1 mM 以上の CaCl₂ 添加で改善効果が、同様に 40 mM および 100 mM NaCl 処理区では 0.5 mM 以上の CaCl₂ 添加で有意な改善効果が認められた(第 1 表)。

各濃度の NaCl 溶液と同等の浸透圧に調整したマンニトール溶液(40 mM, 80 mM または 200 mM)中で根の伸長量を調査し浸透圧の影響を検討したところ、対照区の伸長量と有意な差異はみられなかった。

Na 含量は、NaCl 処理濃度の上昇とともに増加した(第 3 図)。20 mM および 40 mM NaCl 処理区では、CaCl₂ 添加濃度の上昇とともに Na 含量が顕著に減少し、20 mM NaCl 処理区に 5.0 mM の CaCl₂ を添加した場合、Na 含量が NaCl 無処理区と同程度にまで低下した(第 3 図)。100 mM NaCl 処理区の場合、CaCl₂ 添加により伸長回復がみられなかった 0.1 mM CaCl₂ 添加区および伸長回復がわずかであった 0.1 mM CaCl₂ 添加区(第 3 図)の Na 含量は無添加区と同程度かそれ以上であったが、伸長改善効果

Table 1. Effect of CaCl₂ to root elongation of *Pyrus pyrifolia* under NaCl stress

CaCl ₂ (mM)	Roos elongation (mm)			
	NaCl (mM)			
	0	20	40	100
0.0	14.6 a ^z	3.0 b	2.7 c	3.0 c
0.1	16.1 a	9.4 a	6.9 bc	2.8 c
0.5	25.6 a	13.0 a	10.1 ab	7.7 b
5.0	23.9 a	10.6 a	11.7 a	12.0 a
ANOVA				
NaCl (A)		*** ^y		
CaCl ₂ (B)		***		
(A) × (B)		NS		

^z Different letters within the same column show a significant difference by Tukey-Kramer's HSD tests at the 5% level.

^y NS, *** indicate non-significant and significant differences at P<0.05 by ANOVA (n=7).

がみられた5.0 mM CaCl₂添加区はNa含量の上昇が抑制された(第3図)。Ca含量はCaCl₂添加濃度の上昇とともに増加したが、NaCl濃度の上昇とともにCa含量の増加が抑制される傾向にあった(第3図)。K含量はNaCl処理により著しく減少した(第3図)。伸長の改善がみられなかった100 mMのNaClに0.1 mM CaCl₂を添加した区でも同様にK含量が著しく減少した(第3図)。40 mMおよび100

mM NaCl処理区では、CaCl₂添加濃度の上昇とともにK含量が上昇する傾向がみられた(第3図)。マンニトール処理区ではNa、CaおよびKのいずれの含量とも対照区と同様の値であった。

ナシ台木種芽生えの根の伸長はNaCl処理と同様にKClおよびNa₂SO₄処理によっても著しく抑制され、処理濃度に関わらずほとんど伸長しなかった(第2表)。しか

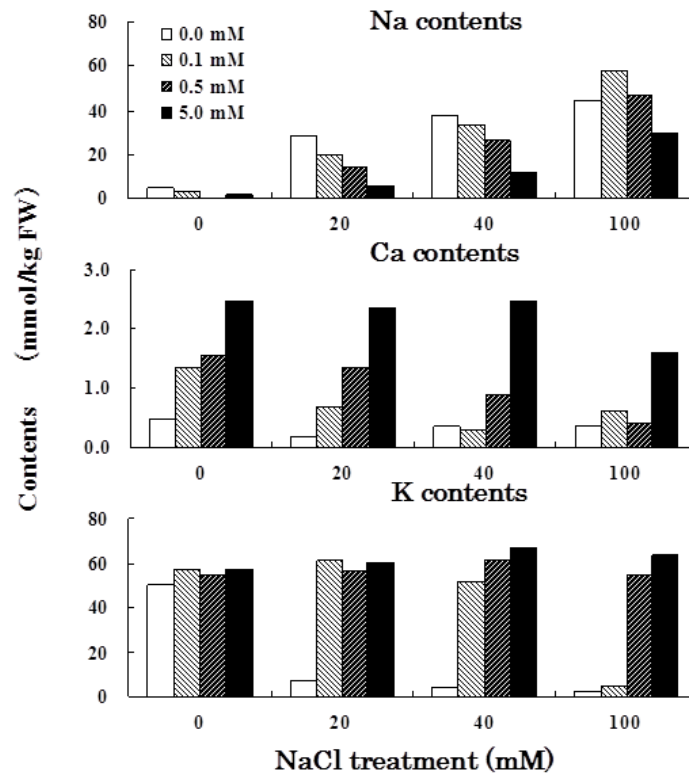


Fig. 3. Effect of CaCl₂ to root Na, Ca and K content of *Pyrus pyrifolia* under NaCl stress

Table 2. Effect of CaCl₂ to root elongation of *Pyrus pyrifolia* under various salt stresses

CaCl ₂ (mM)	Root elongation (mm)						
	0	NaCl (mM)		KCl (mM)		Na ₂ SO ₄ (mM)	
		25	100	25	100	12.5	50
0	15.7 a ^z	1.9 b	0.6 b	1.3 b	0.7 b	2.3 b	0.1 b
0.1	18.6 a	10.1 a	1.7 b	9.6 a	0.3 b	9.3 a	0.7 b
5.0	19.4 a	11.7 a	12.7 a	12.4 a	10.4 a	13.6 a	10.9 a
ANOVA							
Main salt (A)		*** ^y		***		***	
CaCl ₂ (B)		***		***		***	
(A) × (B)		NS		NS		NS	

^z Different letters within the same column show a significant difference by Tukey-Kramer's HSD tests at the 5% level.

^y NS, *** indicate non-significant and significant differences at P<0.05 by ANOVA (n=7).

し、NaCl、KCl および Na₂SO₄を含む培養液中に CaCl₂を添加することにより、伸長の改善がみられた。25 mM の NaCl または KCl、12.5 mM の Na₂SO₄を処理した区では CaCl₂ の添加濃度の上昇にともない、伸長の回復がみられた。また、100 mM の NaCl または KCl、50 mM の Na₂SO₄を処理した区では0.1 mM の CaCl₂添加では改善効果は確認できないものの、5.0 mM の CaCl₂を添加することにより枯死することなく、伸長を維持することが確認された(第2表)。

12.5 mM および50 mM Na₂SO₄処理区では5.0 mM の CaCl₂添加により、NaCl 処理区と同様に無添加区に比べ Na 含量が低下した。Ca 含量はCaCl₂添加濃度の上昇とともに塩の種類に関わらず増加したが、5.0 mM CaCl₂添加区では塩濃度の上昇とともに Ca 含量の増加が抑制される傾向にあった。Na₂SO₄処理区の K 含量の変化は NaCl 処理区と同様、処理濃度に関わらず著しく減少したが、12.5 mM Na₂SO₄処理区ではいずれの濃度の CaCl₂添加でも、また、50 mM Na₂SO₄処理区では5.0 mM の CaCl₂添加により、K 含量の低下が防止された。

NaCl 溶液に KCl を添加しても、KCl 溶液に NaCl を添加しても、いずれの場合も CaCl₂添加時にみられたような根の生長回復はみられず、褐変し、枯死した(第3表)。また、体内の Na、Ca および K 含量も KCl または NaCl 添加の影響はみられなかった。

3.3 カルシウムによる NaCl ストレス条件下のリンゴ台木種の根の伸長阻害の軽減

まず、実験3-1の結果をみると、マルバカイドウの芽生えの根の伸長は NaCl 処理により著しく抑制され、処理濃度に関わらず根の伸長はほぼ見られなかった。一方、20 mM NaCl 処理区では0.5、1.0 mM CaCl₂添加で、80 mM NaCl 処理区では1.0 mM CaCl₂添加で、根の伸長の改善が認められた(第4図)。50 mM NaCl 処理区への0.5 mM および1.0 mM の CaCl₂添加、80 mM NaCl 処理区への0.5 mM CaCl₂添加は根の伸長を改善しなかったが、根が褐変する事を防ぎ、塩ストレスの軽減に効果を持つことが示された。

Table 3. Effect of NaCl or KCl supplement to root elongation of *Pyrus pyrifolia* under KCl or NaCl stress, respectively

NaCl or KCl (mM)	Root elongation (mm)				
	NaCl (mM)			KCl (mM)	
	0	25	100	25	100
0.0	12.6	2.9 a ^z	0.1 a	1.7 a	0.0 a
0.1	-	2.0 a	0.0 a	2.7 a	0.0 a
5.0	-	3.4 a	0.0 a	2.0 a	0.1 a

NaCl 80 mM treatment

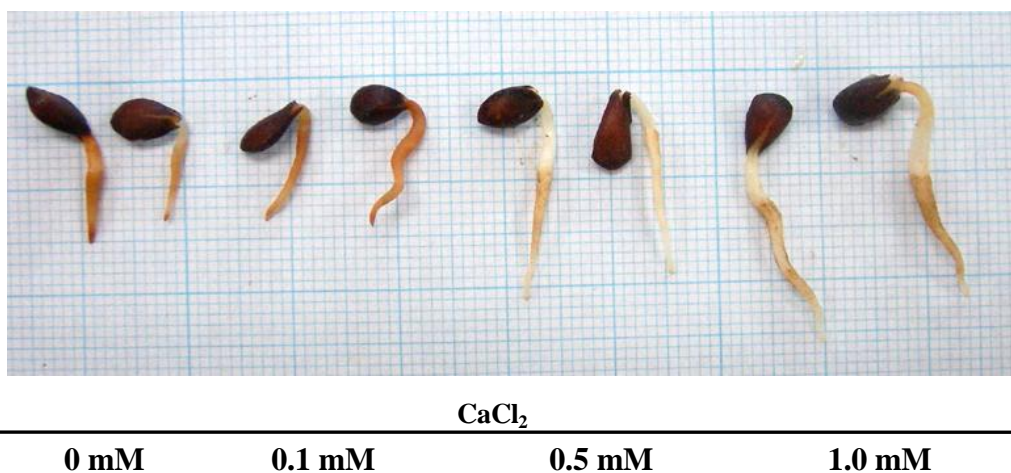


Fig 4. Effect of CaCl₂ to root elongation of *Malus prunifolia* under 80 mM NaCl stress

次に、実験3-2の結果をみると、マルバカイドウの芽生えの根の伸長はNaCl処理と同様にKClおよびNa₂SO₄処理により著しく抑制され、処理濃度に関わらず根の伸長はほぼ見られなかった。

しかし、NaCl、KClおよびNa₂SO₄溶液中にCaCl₂を添加することにより根の伸長の改善がみられた。25 mM NaCl および KCl 処理区、12.5 mM Na₂SO₄ 処理区ではCaCl₂の添加により根の伸長が改善される傾向がみられた。100 mM NaCl および KCl 処理区、50 mM Na₂SO₄ 処理区では1.0 mM CaCl₂添加により根の伸長の改善が認められた。NaCl濃度が同一の場合、添加するCaCl₂添加濃度の上昇に伴い、根中のCa含量は増加した。

根中のNa含量はNaCl処理濃度の上昇に伴い増加した。しかし、NaClの濃度が同一の場合、添加するCaCl₂濃度の増加と共に根中のNa含量は減少した。根中のK含量はNaCl処理により著しく減少した。しかし、CaCl₂を添加した処理区でCaCl₂無添加の区と比べ増加した。NaCl 25 mM 処理区ではCaCl₂ 0.1 mM および 1.0 mM 添加で、NaCl 100 mM 処理区ではCaCl₂ 1.0 mM 添加で対照区と同程度のK含量となった。

KCl 処理区、Na₂SO₄ 処理区においても、根中のCa含量はCaCl₂添加濃度の上昇に伴い、CaCl₂無添加区と比べ増加した。K含量はCaCl₂添加濃度の上昇に伴い増加した。

実験3-3の結果をみると、各台木種およびリンゴ属植物の芽生えの根の伸長はNaCl処理により阻害され、根の伸長はほとんどみられなかった。しかし、CaCl₂添加により生育抑制の軽減効果がみられた。全ての種でNaCl濃度の増加に伴い根の伸長量は減少した。NaCl処理濃度が同一の場合、CaCl₂添加濃度の上昇に伴い、伸長量は増加した。NaCl 100 mM 処理区ではそれぞれ1.0 mM CaCl₂添加により生育抑制は軽減され、根の伸長阻害が軽減された。

CaCl₂のみ添加した処理区において、エゾノコリンゴ、ズミでは根の伸長量は対照区と同程度であったが、マルバカイドウでは実験3-1と同様にCaCl₂を添加した処理区の根の生育が対照区と比べ抑制される傾向を示した。M9においてはCaCl₂を添加にした区は処理濃度に関わらず対照区よりも旺盛な伸長をみせ、伸長量が増加した。

4. 考 察

果樹は塩ストレスを受けると葉へのNaやClの過剰な蓄積にともなうイオンストレスと浸透圧ストレスを受ける(Hasegawa, 2002)。一般的に知られているイオンストレスの典型的な症状は様々な種類の葉焼けである(Bernstein, 1965)。そのため、葉への障害の発生の有無や障害程度の差異により耐塩性の強弱や品種間差異が評価されてきた(本杉ら, 1987; Yinら, 2010)。本試験においても葉の障害程度の差異により供試したリンゴ台木5品種の耐塩性の強弱を明らかにすることができた。

JM2は150 mMのNaCl溶液を35日間処理しても葉に1割程度しか障害が発生しなかったことから強い耐塩性を有することが示唆された。葉の障害に影響を与えるNaおよびClの蓄積をみるとJM2は葉のClの蓄積が他台木種と比べ少なく、Naの蓄積も少なかった。松本(2006)はナシ台木種においてNaおよびCl含量がそれぞれ87および141 mmol・kg⁻¹ DWを超えると葉に障害が発生すると報告している。本研究においては、マルバカイドウではNaおよびCl含量がそれぞれ100および200 mmol・kg⁻¹ DWを超えると葉に障害が発生しており、青台3ではNaおよびCl含量がそれぞれ80および250 mmol・kg⁻¹ DWを超えると葉に障害が発生していることから、葉の障害が発生するイオン濃度はリンゴ台木種間で異なっていた。したがってリンゴ台木種における葉の障害はイオンストレスのみが原因ではない可能性が示唆された。植物体全体の水分状態を示すStem water potentialをみてもJM2の150 mM区は値の低下が少なく、植物体内の水分状態を比較的健全に保っていることから浸透圧ストレスを受けにくいと考えられた。Moyaら(1999 および 2003)はカンキツの台木種においてClの吸収は受動的に起こるため、Cl吸収量は吸水量と相関があると報告している。JM2の150 mM区は同じ処理濃度区の他台木種と比べCl含量が少ないことから、吸水量を抑制している可能性が考えられた。しかし、JM2は吸水量を抑制しているにも関わらずStem water potentialの低下が少なく、植物体内に水分を保持している。そのため、JM2は吸水量を抑制しながらも植物体内の水分状態を保持できる何らかの機構を有している可能性が示唆された。さらに、35日間という短期間の処理のため十分な差異は生じなかったが、JM2の根幹の新鮮重は他台木種と比べ大きい傾向がある。そのため、JM2の根幹

部では塩ストレス下でもバイオマスを増大させることで単位体積当たりの Na および Cl イオンなどの有害イオンが低く抑えられるいわゆる「希釈」が起こり、葉への Na および Cl 移行を抑制した可能性も考えられた。JM2 は半わい性台木にもかかわらず新梢伸長量および伸長率が NaCl 処理区において青台 3、JM7 と同程度であった(第 1 図)。したがって、JM2 は新梢などの地上部の生育を抑制し、根幹などの地下部の生育を促進することにより地上部への有害イオンの移行を抑制する何らかの機構を有する可能性も示唆された。松本(2006)はナシ台木種に 150 mM の NaCl 溶液を 30 日間灌水することにより、耐塩性の強い台木種は葉の障害が全く発生せず、葉の Na および Cl の蓄積が 100~150 mmol・kg⁻¹ DW であったと報告している。強い耐塩性を有するとした JM2 は 150 mM の NaCl 溶液を 30 日間灌水することにより葉の障害が 1 割程度発生しており、葉の Na および Cl の蓄積が 250~300 mmol・kg⁻¹ DW であった。そのため JM2 は本研究に用いたリンゴ台木種の中では強い耐塩性を示したが、野生種のナシ台木に比べると若干劣る耐塩性であると考えられた。

一方、マルバカイドウおよび JM1 は 150 mM の NaCl 溶液を 35 日間処理することにより半分以上の葉が枯死または落葉したことから耐塩性の弱い台木種であることが示唆された。葉の Na 蓄積は 150 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ高い値を示しており、Cl 蓄積も多かった。また、葉の K/Na 比も 150 mM 区において同じ処理濃度区の他台木種と比べ低く、Na イオンと K イオンの置換が著しいことを示している。しかし、マルバカイドウと JM1 は Stem water potential において異なる反応を示した。マルバカイドウでは Stem water potential が塩ストレスにより低下しないのに対して、JM1 では Stem water potential が塩ストレスにより著しく低下した。中国原産リンゴ台木種を用いて耐塩性試験を行った Yin ら(2010)は、耐塩性の弱い台木種は茎において著しい浸透圧ストレスを受けていると報告しており、本研究の JM1 も同様であった。この結果から本研究での耐塩性の弱いタイプには「浸透圧ストレスは受けないがイオンストレスは受けるタイプ」および「浸透圧ストレスとイオンストレスのどちらも受けるタイプ」の 2 タイプあることが推測された。その原因として、マルバカイドウは強勢台木であり葉の Cl 含量も多いことから吸水量が多いと考えられる。そのため、より多くの水を取り込み植物

体内の水分保持を可能にしたと考えられた。一方、JM1 は蒸散速度の値がわい性台木種のなかでも低いことが報告されており(藤澤ら, 2010)、その結果、根での吸水が抑制され浸透圧ストレスを著しく受けた可能性が考えられた。しかし、JM1 は吸水が抑制された可能性があるにもかかわらず葉の Cl 含量が多かった。その理由として、JM1 は葉の新鮮重が少なく、1 樹当たりの葉数が少ないことが予想される。したがって、1 樹当たりの Cl 含量が少なかったとしても葉 1 枚当たりの Cl 含量は多くなってしまふ。そのため JM1 は吸水が抑制された可能性があるにもかかわらず Cl 含量が増加したと考えられた。また、マルバカイドウの 50 mM 区における新梢伸長量および伸長率は同じ処理濃度区の他台木種と比べ高い値を示しており(第 1 図)、葉の障害も 1 割程度であった。よって、マルバカイドウは低濃度の NaCl 処理下においては比較的強い耐塩性を有することが示唆された。塩ストレスを回避する機構の一つとして、低濃度の塩を与えた場合、地上部の成長を活性化し植物体内のイオン濃度を「希釈する」ことが知られている(Lazof・Bernstein, 1999; Tozlu ら, 2000)。本研究のマルバカイドウの 50 mM 区においても前述で述べたように新梢の活発な伸長がみられ、葉および新梢の新鮮重も同じ処理濃度区の他台木種と比べ大きいことから、同様の機構が働いたと考えられた。本杉ら(1987)の報告においてもマルバカイドウは 80 mM の NaCl 処理により葉に多くの障害が発生し、Na および Cl も著しく蓄積していたが、20 mM の NaCl 溶液を処理した場合は葉の障害が少なく、Na および Cl 蓄積も少なかった。しかし、地上部における成長量は調べられていなかったため、本研究と同様の機構が発生したのかは不明である。また、本杉ら(1987)は各台木種に「ふじ」を接ぎ木した場合の耐塩性試験も行っており、同一の穂木品種を各台木種に接ぎ木した場合、葉の障害程度と Cl 含量は一致した傾向を示したが、台木種の場合、葉の障害程度と Cl 含量は必ずしも一致した傾向を示さなかったと報告している。マルバカイドウ台「ふじ」は 50 mM の NaCl 溶液を処理することにより新梢伸長量が同じ処理濃度区の他台木種よりも増加した。本研究においてもマルバカイドウの 50 mM 区は同じ処理濃度区の他台木種よりも新梢伸長量が増加したことから(第 1 図)、地上部の成長量に関しては台木の形質が穂木に影響を与える可能性が示唆された。しかしながら、本研究においても本

杉らの報告通り、葉の障害程度と Cl 含量は必ずしも一致した傾向を示しておらず、今後穂木を接ぎ木しての耐塩性試験を行う必要があると考えられた。

青台 3 および JM7 は 150 mM の NaCl 溶液を 35 日間処理したことにより葉に 1~3 割程度の障害が発生していた。そのため、青台 3、JM7 は中程度の耐塩性を有すると考えられた。Na および Cl 蓄積は JM2 に比べ多く、Stem water potential 値も低下し、浸透圧ストレスを受けている可能性が示唆された。しかし、Stem water potential 値の差異から植物体の受けている浸透ストレスの程度は青台 3 の方が軽いと考えられ、中程度の耐塩性を有する台木種においても差異がみられた。さらに、葉の Na 含量においても青台 3 は JM7 に比べ蓄積が少なく、葉への Na 移行を抑制していた。

耐塩性に関する研究の中には根の呼吸量や活性についての報告もある。平田・林(1969; 1970)はカキおよびブドウにおいて高濃度の塩処理が根の呼吸量を抑制し、根の活性や養分吸収能力を著しく妨げることが報告している。本研究でも NaCl 処理濃度の上昇にともなう根の TTC 活性の低下がみられ、強い耐塩性を有する JM2 においても他台木種と同様に低下は著しかった。そのため根の呼吸活性と耐塩性の強弱の間には必ずしも相関関係はないようだとも推測された。また、Yin ら(2010)は根の成長量と耐塩性の間では相関関係がないという結果を示しており、本研究においても NaCl 処理区における細根の新鮮重は必ずしも耐塩性の強弱と一致する傾向を示していなかった。しかし、Yin ら(2010)の報告ではいずれの台木種においても NaCl 処理による根の成長の減退はみられておらず、処理期間もわずか 10 日間であるため根の成長量に差異が生じなかったと考えられた。そのため、根の成長量と耐塩性の強弱における関係性は明らかにはならなかった。

菊池・塩崎(2005)はこれからのリンゴ栽培において半わい性台木種を用いた半密植栽培が有効である可能性を示唆している。半わい性台木種を用いた半密植栽培はわい性台木種を用いた密植栽培に比べ栽植密度が低い(密植栽培:100 本以上/10 a, 半密植栽培:40~60 本/10 a)ことから苗木代が安く、支柱も不要か低いものでよいので開園費が安く抑えられる。半わい性台木種は根系の発達がよいので土壌適応性にも優れている。本研究で強い耐塩性を有すると評価した JM2 は半わい性台木であり、半

密植栽培に適している。そのため、乾燥地での栽培の際や東日本大震災で津波被害を受けたリンゴ園や塩害を受けやすい沿岸部のリンゴ園における開園や改植の際には JM2 を用いた早期多収のみこめる半密植栽培を推奨していくべきであると考えられた。また、希釈海水を用いた高品質果実の生産においても、同様に耐塩性の強い JM2 を用いることが適当であると考えられた。

このように本研究によって新台木種間においても耐塩性に差異があることが明らかとなった。今回は台木種間における純粋な耐塩性の差異を明らかにするために台木種のみ耐塩性試験を行った。リンゴは接木による栄養繁殖で栽培を行うため、穂木品種の耐塩性も重要となる。しかしながら、実用的に考えた場合、穂木品種は消費者のニーズに合わせて選択するべきであり、塩類土壌下における栽培には台木種の耐塩性が不可欠となる。今後は耐塩性の強い JM2 に食味の良い穂木品種を接木して行う耐塩性試験により、より良い穂木品種を選抜することが重要である。

次にカルシウムによる NaCl ストレス条件下のナシおよびリンゴ台木種の根の伸長阻害の軽減について考察する。

根の生長は地上部の生長に比べ NaCl ストレスに対する感受性が強いことから、塩ストレスにともなう根の障害を緩和する必要性が指摘されている(Bernstein ら, 2004)。一方で、培地への Ca 添加が塩ストレス、特に Na による根の伸長阻害を抑制する上で有効であることが報告されている(Cramer ら, 1986; Cramer ら, 1988; Greenway・Munns, 1980; Kurth ら, 1986; Zekri, 1993)。本実験ではナシおよびリンゴ台木種の芽生えを用いて、Na の流入機構と Ca 添加による根の伸長維持について調査を行った。

一般に、塩ストレスは浸透ストレスとイオンストレスの 2 種類のストレスが関連すると考えられている(Hasegawa, 2002)。そこで、両ストレスの違いを明確にするため、障害が発生し、著しい伸長阻害がみられた各 NaCl 溶液と同等の浸透圧を持つマンニトール溶液をナシ台木種に処理したところ、障害は発生せず、伸長にも影響を及ぼさなかった。Yermiyahu ら(1997)は浸透ポテンシャルが-0.1 MPa 以上のマンニトール溶液はメロンの根の伸長に影響を及ぼさないことを報告している。また、Nakamura ら(1990)は

リョクトウ (*Vigna mungo* L.) の根の伸長は 150 mM までのマンニトール溶液の影響を受けないことを報告している。このように、本実験で用いた 100 mM 程度の NaCl 溶液の浸透圧が根の伸長に与える影響はわずかであり、NaCl 処理下の根の伸長阻害は主としてイオンストレスによって発生したとみなされた。リンゴ台木種では本実験は行っていないが、同様の機構があることが推察された。

続いて、根に障害が発生し、伸長が停止する NaCl 溶液へ、CaCl₂ を添加して伸長阻害の軽減について調査したところ、CaCl₂ 添加により障害の発生が抑制され、根の伸長は回復した。つまり、培養液の NaCl 濃度が同一の場合、CaCl₂ 濃度の上昇とともに伸長量は増大し、CaCl₂ 濃度が同一の場合は NaCl 濃度の低下とともに伸長量は増加した。これは、ナシおよびリンゴ台木種ともに同様の傾向であった。Kinraide (1998) は Ca による Na ストレスの緩和機構について、①Ca により細胞膜の表面を還元し有害イオンを除去する、②Na によって奪われた細胞膜上の Ca を再び結合させる、③前記以外の機構で Na の影響を回避する、の三点を挙げている。Reid・Smith (2000) および Yermiyahu ら (1997) も同様に、細胞膜に結合した Ca の量および活性が、NaCl ストレス下の植物の生長に影響を及ぼすことを報告している。このように、NaCl 溶液中の CaCl₂ が植物体内のイオン濃度に影響を与える可能性が示唆されたことから、本実験でも植物体内の Na、Ca および K 含量を測定したところ、CaCl₂ 添加による体内の Ca 含量の増加とともに、吸収される Na 含量が著しく減少し、K 含量の低下が抑制された。塚本 (1999) はダイズを用いた実験で NaCl 溶液中の CaCl₂ が細胞膜の K および Na の選択透過性を保護し、Na の流入および K の流出を抑制することを指摘している。このように、CaCl₂ 添加による NaCl ストレスの軽減作用は細胞膜における各イオンの選択透過性の維持に関連している可能性が示唆された。

本研究では選択透過性についてより詳細に調査するため、溶液の主成分を KCl または Na₂SO₄ とし、CaCl₂ 添加の効果を調査した。NaCl 溶液中と同様の CaCl₂ 添加効果が Na₂SO₄ 溶液中でも確認され、体内の Na、K および Ca 含量の動向も同様であった。このため、NaCl による根の伸長阻害の主な原因は Cl ではなく Na にあり、Ca は Na が関与する機構に何らかの作用を及ぼしていることが明らかとなった。また、NaCl 溶液中と同様の CaCl₂ 添加効果が KCl

溶液中でも確認されたことから、Ca は Na に特異的に作用して伸長阻害を緩和するのではなく、K のような他の一価のカチオンにも作用し、ストレスを緩和する可能性が示唆された。

Na の細胞内への進入に関しては K との拮抗作用が指摘されており、Ca は選択透過性を制御するシグナルとして働いている可能性が示唆されてきた (Yokoi ら, 2002)。しかし、近年、細胞内への Na の進入経路として Voltage-insensitive monovalent cation channel (VICC) または Non-selective cation channel (NSCC) の存在が注目され、Ca はこのチャンネルに直接作用して一価のカチオンの侵入を抑制している可能性が示唆されている (Amtmann・Sanders, 1999)。本実験では NaCl 溶液に KCl を、KCl 溶液に NaCl を添加しても伸長阻害の緩和は確認できなかった。Kinraide (1999) は低濃度の K 添加は Na ストレスを緩和することを報告しているが、その効果は Ca 添加時と比較して著しく小さく、Ca 添加による緩和機構とは異なると推察している。これらのことから、Na と K の競合のみでは CaCl₂ 添加でみられた障害の軽減は起こらず、Ca が Na や K に直接作用してストレスを緩和しているものと考えられた。以上のように NaCl ストレス下における根の伸長阻害は主として Na の害により細胞膜の選択透過性が破壊され根から K が流出し、Na が侵入することによって起こることが示唆された。また、Ca はこの選択透過性の維持に働き、根が受ける NaCl ストレスを軽減する可能性が示された。

リンゴにおいて CaCl₂ 添加による NaCl ストレス下での根の伸長阻害の軽減の品種間差異を調査したところ、多少の程度の差がみられるものの全ての品種で CaCl₂ 添加による根の伸長の回復効果が確認された。リンゴで品種にかかわらず効果がみられたこと、ナシ、リンゴ両種の台木種で同様の傾向がみられたことから、CaCl₂ 添加はナシおよびリンゴの塩ストレスの緩和に有効であることが確認された。

総括として、希釈海水を用いてニホンナシおよびリンゴ栽培を行う場合には台木としてニホンナシの場合はマンシュウマメナシを、リンゴの場合は JM2 を用いることが適当であるものと考えられた。これは、東日本大震災で津波被害を受けた地域および今後津波等の被害を受ける可能性がある地域でも同様に両台木種を用いることにより、塩ストレスの被害を受けにくいものと考えられる。もちろん、こ

これらの台木種を用いれば直ちに良質な果実を収穫できるわけではないので、CaCl₂ 添加による根の伸長阻害の軽減技術や適切な整枝せん定、肥培技術を組み合わせて栽培方法を工夫してゆく必要がある。

5. 今後の課題

ニホンナシ、リンゴともに耐塩性台木が選抜できたため、今後はこれらの台木に穂木品種を接ぎ、実際に果実を生産しその品質を確認する試験が必要となってくる。また、CaCl₂ 添加による根の伸長阻害の軽減効果については溶液栽培での確認であったため、今後培地を土壌に移して、同様の効果が得られるか否かの検証試験を行う必要がある。

文献

- Amtmann, A. and D. Sanders. 1999. Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Adv. Bot. Res.* 29: 75-112.
- Bernstein, L. 1965. Salt tolerance of fruit crops. *USDA Info. Bul.* 292: 2-8.
- Bernstein, N., A. Meiri and M. Zilberstaine. 2004. Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *J. Ame. Soc. Hort. Sci.* 129: 188-192.
- Cramer, G. R., A. Lauchli and E. Epstein. 1986. Effects of NaCl and CaCl₂ on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. *Plant Physiol.* 81: 792-797.
- Cramer, G. R., E. Epstein and A. Lauchli. 1988. Kinetics of root elongation of maize in response to short-term exposure to NaCl and elevated calcium concentration. *J. Exp. Bot.* 39: 1513-1522.
- 藤澤弘幸・工藤和典・増田哲男・別所英男・猪俣雄司. 2010. JM1, JM7, JM8 および JM9 台木がリンゴ葉の光合成速度に及ぼす影響. *園学雑.* 9:171-176.
- 二見敬三. 1990. 根活性診断法. p.49-60. *植物栄養実験報編集委員会編. 植物栄養実験報.* 博友社. 東京.
- Greenway, H., and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Hasegawa, P. M. 2002. Stress Physiology. p.591-623. In: L. Taiz and E. Zeiger (eds.). *Plant Physiology.* Third Edition. Sinauer Associates, Sunderland. MA.
- 平田尚美・林真二. 1969. ブドウの砂耕栽培における Cl, SO₄ および CO₃ イオン濃度と樹体の成長, 果実収量ならびに養分吸収との関係. *鳥取大農報.* 21: 1-12.
- 平田尚美・林真二. 1970. 塩類の種類および濃度とカキ樹の生育, 果実の品質ならびに養分吸収との関係. *鳥取大砂丘研報.* 9: 29-50.
- Iwasaki, I., S. Utsumi, K. Hagino and T. Ozawa. 1956. A spectrophotometric method for the determination of small amount of chloride using mercuric thiocyanate. *J. Chem. Soc. Jpn.* 29: 860-864.
- 菊池卓郎・塩崎雄之輔. 2005. せん定を科学する. p.155-156. *農文協.* 東京.
- Kinraide, T. B. 1998. Three mechanisms for the calcium alleviation of mineral toxicities. *Plant Physiol.* 118: 513-520.
- Kinraide, T. B. 1999. Interactions among Ca²⁺, Na⁺ and K⁺ in salinity toxicity: quantitative resolution of multiple toxic and ameliorative effects. *J. Exp. Bot.* 50: 1495-1505.
- Kurth, E., G. R. Cramer, A. Lauchli and E. Epstein. 1986. Effects of NaCl and CaCl₂ on cell enlargement and cell production in cotton roots. *Plant Physiol.* 82: 1102-1106.
- Lazof, D. and Bernstein, N. 1999. The NaCl induced inhibition of shoot growth: The case for disturbed nutrition with special consideration of calcium. *Advances in botanical research.* 113-189.
- McCutchan, H. and K. A. Shackel. 1992. Leaf-water potential as a sensitive indicator of water stress in Prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 607-611.
- 松本和浩. 2006. ニホンナシ栽培における耐塩性台木の選抜と耐塩性機構に関する生理学的研究. 鳥取大学大学院連合農学研究科博士論文.
- Matsumoto, K., F. Tamura, J-P. Chun and K. Tanabe. 2006b. Native Mediterranean *Pyrus* rootstock, *P. amygdaliformis* and *P. elaeagrifolia*, present higher tolerance to salinity stress compared with Asian natives. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75: 450-457.
- 松本和浩・田村文男・千種 種彌・池田隆政・今西久美子・田

- 辺賢二. 2007. マンシュウマメナシ台木によるニホンナシの耐塩性向上. 園芸学研究. 6: 47-52.
- Matsumoto, K., J-P. Chun, F. Tamura, Y. Kamamoto, and K. Tanabe. 2006a. Salt tolerance in *Pyrus* species is linked to levels of Na and Cl translocation from roots to leaves. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 385-391.
- Matsumoto, K., F. Tamura, J-P. Chun, C. Zhang and K. Tanabe. 2008. Effect of the shank length of *Pyrus betulaefolia* rootstock on the photosynthesis and the sodium and chloride distribution of Japanese pear saplings under saline conditions. J. Amer. Pomol. Soc. 62: 151-159.
- 本杉日野・杉浦明・苫名考. 1987. 数種類の台木におけるリンゴ樹の耐塩性の比較. 園学雑. 56 135-141.
- Moya, J. L., A. Gomez-Cadenas, E. Primo-Millo and M. Talon. 2003. Chloride absorption in salt-sensitive Carrizo citrange and salt-tolerant Cleopatra mandarin citrus rootstocks is linked to water use. J. Exp. Bot. 54: 825-833.
- Moya, J. L., E. Primo-Millo and M. Talon. 1999. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. Plant, Cell Environ. 22: 1425-1433.
- Nakamura, Y., K. Tanaka, E. Ohta and M. Sakata. 1990. Protective effect of external Ca^{2+} on elongation and the intracellular concentration of K^{+} in intact mung bean roots under high NaCl stress. Plant Cell Physiol. 31: 815-821.
- 大山卓爾・伊藤道秋・小林京子・荒木創・安吉佐和子・佐々木修・山崎拓也・曾山久美子・種村竜太・水野義孝・五十嵐太郎. 1991. 硫酸-過酸化水素分解法による植物・厩肥飼料中に含まれる N, P, K の分析. 新潟大学農学部研究報告. 43: 111-120.
- O'Rourke, D., J. Janick and S. Sansavini. 2003. World apple cultivar dynamics. Hronica Horticulturae. 43: 10-13.
- Reid, R. J. and F. A. Smith. 2000. The limits of sodium /calcium interactions in plant growth. Aust. J. Plant Physiol. 27: 709-715.
- Tozlu, I., G. A. Moore and C. L. Guy. 2000. Regulation of growth and differential tissue dry mass accumulation by *Citrus grandis*, *Poncirus trifoliata*, and their F_1 under salinized and non-salinized environments. Aust. J. Plant Physiol. 27: 27-33.
- 塚本佳子. 1999. ダイズ幼根の伸長に対する Ca^{2+} による Na^{+} 害軽減効果の解析. 鳥取大学修士論文.
- Yermiyahu, U., S. Nir, G. Ben-Hayyim, U. Kafkafi and T. B. Kinraide. 1997. Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes. Plant and Soil 191: 67-76.
- Yin, R., T. Bai, F. Ma, X. Wang, Y. Li and Z. Yue. 2010. Physiological responses and relative tolerance by Chinese apple rootstocks to NaCl stress. Sci. Hortic. 126: 247-252.
- Yokoi, S., R. A. Bressan and P. M. Hasegawa. 2002. Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Work. Rep. 23: 25-33.
- Zekri, M. 1993. Salinity and calcium effects on emergence, growth and mineral composition of seedlings of eight *Citrus* rootstocks. J. Hort. Sci. 68: 53-62.

Establishment of Cultivation System of Japanese Pear and Apple by Diluted Sea-Water

～The Clarification of Salt Tolerant Mechanism of the Rootstocks～

Kazuhiro Matsumoto¹, Fumio Tamura², Osamu Arakawa³, Junichi Soejima⁴

¹Fujisaki Farm, Teaching and Research Center for Bio-Coexistence Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, ²Faculty of Agriculture, Tottori University, ³Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, ⁴National Institute of Fruit Tree Science

Summary

In this experiment, the salt-tolerant apple rootstock was selected. Moreover, the amelioration method of root growth reduction under NaCl stress in both Japanese pear and apple rootstocks was revealed.

The salt tolerance was compared in 5 *Malus* rootstocks: *Malus prunifolia* ver. Ringo, JM1, JM2, JM7 and Aodai3. Two-year-old rooted cutting were subjected to each of 50 mM, 100 mM, and 150 mM NaCl solutions, and leaf injury, shoot growth, stem water potential, and mineral uptake were evaluated. JM2 showed the highest salt tolerance with little visible symptoms of injury even in the 150 mM NaCl treatment. JM2 also showed a slight decrease of stem water potential under the NaCl treatment. Moreover, Na and Cl accumulation in the leaves were lesser than the other rootstocks. In contrast, *M. prunifolia*, and JM1 exhibited lower salt tolerance with severe leaf injuries and more accumulation of Na and Cl in the leaves. The salt tolerance of 5 *Malus* rootstocks was ranked as followings; JM2 > Aodai3 > JM7 > *M. prunifolia* > JM1.

To understand the roles of Ca in enhancement of salt tolerance in *Pyrus* and *Malus* seedlings, a hydroponics culture experiment was conducted. When the NaCl concentration in the growth solution was stable, the increase of CaCl₂ concentration ameliorated the root growth reduction. When the CaCl₂ concentration in the growth solution was stable, the decrease of NaCl concentration accelerated the root growth. This phenomenon was observed both *Pyrus* and *Malus* seedlings. The increase of Na contents and decrease of K contents in the roots were suppressed by CaCl₂ addition. These results implied that the root growth reduction in NaCl solutions was caused by Na to distract the selective permeability on cell membrane. As a result, K in the root was lost and an excess amount of Na was observed. The CaCl₂ addition may mitigate the NaCl effect to maintain the selective permeability on cell membrane, therefore, Na uptake by root is suppressed and the growth is maintained in the NaCl solutions.

In conclusion, *Pyrus betulaefolia* and JM2 is a suitable rootstock for Japanese pear and apple cultivation using diluted sea-water, respectively. These rootstocks are also suitable for the cultivation at Tsunami suffered orchard. To harvest the high quality fruits, we have to make a growth protocol to combine the stress reduction by CaCl₂ addition, suitable pruning and fertilization.

食塩水を利用した果樹(ナシ)の落葉促進技術の開発

松本 辰也¹, 根津 潔¹, 本永 尚彦¹, 知野 秀次², 児島 清秀²

¹新潟県農業総合研究所園芸研究センター, ²新潟大学大学院自然科学研究科

概要 <研究目的> ナシの栽培において重要な作業である剪定作業や苗木の移植作業は11月下旬以降の落葉を待たなければ実施できない。そのため、産地では厳冬積雪期の重労働を強いられており作業期間の前進が望まれている。また、近年は台湾において、日本からナシの花芽穂木を輸入して栽培する「高接ぎ梨」の生産が増えており、穂木の輸出が農家の新たな収入となっている。しかし、穂木採取についても作業開始時期が落葉後から12月下旬までの期間に限られる。そのため出荷量の確保が難しく、採取時期を早めるために一部では手作業による摘葉も実施されている。そこで、本研究では、プロジェクト研究「作物栽培に及ぼす海水の影響」の一環として、食塩水をナシへ散布した時の落葉に及ぼす影響を明らかにし、作物に悪影響がない最適な散布処理方法を明らかにすることを目的とする。

<研究方法> (1)食塩水による落葉促進効果の検討:濃度の検討はニホンナシ‘新興’とセイヨウナシ‘ル レクチエ’を供試し、0、1、3、6、10%の食塩水を収穫後に散布した。散布時期の検討は、ニホンナシ‘豊水’と‘新興’を供試し、6%食塩水を収穫後、‘豊水’が満開160~181日後、‘新興’が188~199日後に散布処理を実施し、落葉の推移を無処理樹と比較した。(2)落葉期前進が樹体栄養に及ぼす影響の解明:食塩水散布で落葉期を前進させた木、苗から採取した枝と根の貯蔵デンプン量の分析を前年に開発した簡易法を用いて実施した。(3)落葉期前進が翌年の樹体生育に及ぼす影響:‘豊水’と‘新興’の成木と‘ル レクチエ’苗木の前年に食塩水を散布し落葉促進させた樹および無処理樹の翌年の新梢伸長等を調査した。(4)落葉時期前進が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響:ニホンナシの食塩水散布処理で落葉期を早めた樹と無処理樹から採取した花芽穂木を新潟県と台湾において高接ぎし、接ぎ木活着状況、開花結実状況、果実肥大、収穫時果実品質について調査した。

<結果の概要> (1)2カ年の結果から、ニホンナシでは3~6%の食塩水を収穫後に散布することで実用的な落葉促進効果が得られたが、セイヨウナシでは効果は低かった。(2)食塩水散布による落葉促進は貯蔵デンプン含量に影響を与え、特に苗木では耐凍性低下や翌年の生育への影響が懸念された。(3)苗木では落葉期前進が翌年の生育を抑制する傾向が認められた。成木では2年同一樹に処理すると新梢伸長や果実品質に影響がみられた。(4)高接ぎ試験では、食塩水散布処理を2年連続処理した樹から採取した穂木において、開花数等に影響がみられた。

<今後の方向> 3カ年の結果から、ニホンナシにおいて3~6%の濃度の食塩水を散布することによる落葉促進効果が確認できたことから、食塩水または海水が落葉促進に利用できる可能性が明らかとなった。今後は、連年散布処理の樹体への影響や、長年に渡って実施した際の土壌への塩分蓄積の影響についても検証する必要があると考えられる。

1. 研究の背景と目的

ナシの栽培において重要な作業である剪定作業や苗木の移植作業は11月下旬以降の落葉を待たなければ実施できない。そのため、新潟県のナシ産地ではそれらの作業が厳冬積雪期の重労働となり、作業期間の前進が望

まれている。また、近年は台湾において、日本からニホンナシの花芽穂木を輸入して栽培する「高接ぎ梨」の生産が増えており、新潟県ではナシ花芽穂木の台湾輸出が果樹農家の新たな収入となっている。現在、‘新興’や‘豊水’の穂木は年間40t以上輸出されている。しかし、花芽穂木の

採取についても作業開始時期が落葉後からであり、出荷は12月下旬までの約1ヶ月の期間に限られる。そのため、需要に応える出荷量の確保が難しく、採取時期を早めるために一部では手作業による摘葉も実施されている。

これらの問題はナシの落葉時期を早めることにより解決できる可能性があるが、現在、ナシの落葉促進技術は開発されていない。

ナシ以外の果樹では、ブドウやリンゴで落葉促進や摘葉を目的としてエスレル(エチレンの発生剤)等の植物生長調節剤が利用されている例がある。一方で、台風がもたらす潮風害による果樹の早期落葉被害は海岸に近い果樹産地でしばしば発生しており、塩による果樹の落葉効果は広く知られているが、それを積極的に利用しようとした例は見あたらない。筆者らは2007年から実施した予備試験で収穫後のナシ樹に3~12%の食塩水を散布することで顕著な落葉促進効果がみられることを確認した。

そこで、本研究では、プロジェクト研究「作物栽培に及ぼす海水の影響」の一環として、食塩水をナシへ散布した時の落葉に及ぼす影響を明らかにし、落葉促進技術を開発することを目的とする。ただし、極端な早期落葉は樹体内のデンプン等の貯蔵養分量を減少させることが知られていることから、処理による翌年以降の樹体生育や果実品質への悪影響も懸念される。そのため、3カ年のプロジェクト研究の中で落葉期前進が樹体栄養に及ぼす影響、落葉期前進が翌年の樹体生育に及ぼす影響、ならびに落葉期前進が花芽穂木の品質に及ぼす影響についても明らかにし、実用的な落葉促進技術としての可能性を検討する。

2. 研究方法

2.1 食塩水による落葉促進効果の検討(分担:農業総合研究所園芸研究センター)

2.1.1 食塩水の処理濃度が落葉におよぼす影響

2009年と2010年に試験を実施した。新潟県農業総合研究所園芸研究センター試験ほ場に植栽されているニホンナシ‘新興’の2009年時点で29年生の樹とセイヨウナシ‘ルレクチエ’の2009年時点で15年生の樹を2カ年間供試した。

2009年の処理濃度は、0(水道水)、1、3、および6%の4水準とし、それぞれ3本の側枝に対して収穫後の10月

28日午前に動力噴霧器で葉が十分に濡れる量の食塩水を散布した。2010年は処理濃度0(水道水)、3、6、および10%の4水準とし、11月4日午後4時以降に同様に散布した。散布後に落葉の推移を記録した。

2.1.2 食塩水の散布時期が落葉に及ぼす影響

2.1.2.1 散布時期がニホンナシ成木の落葉に及ぼす影響

2009年と2010年に試験を実施した。ニホンナシ‘豊水’と‘新興’の2009年時点で29年生の樹を供試し、同一樹に2カ年連続で処理した。

処理は、収穫後に6%食塩水を用いて1樹単位、反復なしで実施した。散布量は1樹当たり27~30リットル、10a換算で450リットル程度を散布した。処理時期は収穫終了に合わせて、‘豊水’が2009年は9月27日(満開160日後)、10月7日、10月17日の3水準、2010年が10月8日(満開160日後)、10月18日、10月29日の3水準で実施した。晩生の‘新興’は2009年が10月28日(満開190日後)、11月6日の2水準、2010年は11月4日(満開188日後)、11月12日の2水準で散布を実施し、散布後に落葉の推移を無処理樹と比較し記録した。

2.1.2.2 散布時期がセイヨウナシ苗木の落葉に及ぼす影響

2009年に‘ルレクチエ’の1年生苗木各区24本を供試し、動力噴霧器で葉が十分に濡れる量の6%食塩水を散布した。処理は10月16日、10月28日、11月6日に実施し、処理後に各区4本について落葉の推移を無処理苗木と比較して記録した。

2.2 落葉期前進が樹体栄養に及ぼす影響の解明(分担:新潟大学大学院)

食塩水の散布による落葉期の前進が樹体栄養におよぼす影響を明らかにするために、2009年は、ナシの落葉後の枝や根における貯蔵デンプン量の簡易測定法の確立を目的とし、枝からのデンプンの抽出方法と比色定量法について検討を行った。2010年と2011年に、簡易測定法を用いて枝と根の貯蔵デンプン量を測定した。

2.2.1 デンプンの簡易抽出法ならびに簡易測定法の検討

植物材料は新潟県農業総合研究所園芸研究センター試験ほ場に植栽されているニホンナシ‘新興’29年生樹の新梢を使用した。新梢は落葉後の2009年12月7日に採

取し、採取した新梢は先端部、中部および基部の3つの部位に切り分けた。70°Cで72時間通風乾燥後に微粉碎した。

微粉碎試料を用いて、通常のデンプン比色定量法と簡易抽出、比色定量法の比較を実施した。

(1) 通常のデンプン比色定量法

Kojimaら(1994)の方法をナシ用に改変して実施した。

0.2 g 乾物重の微粉碎試料に80% EtOHを9.0 mL加え、攪拌後、室温下で12時間放置した。その後、遠心分離器(3,000 rpm×10分)にかけ、上澄み液を回収した。洗いをおこなって残渣には9.0 mLの80% EtOHを加えた。攪拌後、遠心分離器(3,000 rpm×10分)にかけ、上澄み液を回収した。得られた80% EtOHの上澄み液の画分をエタノール可溶性糖とした。

その後、残渣には蒸留水を4.5 mL加え、湯せんの中で煮沸(10分間)した。試験管内の試料の突沸を防ぐために、90~93°Cで行った。その後、氷冷水で試料を冷やし、100 units・mL⁻¹の amyloglucosidase を含む0.05 Mの酢酸/酢酸ナトリウム緩衝液(pH 4.56)を4.5 mL加え、デンプンを分解させた(55°C・120分)。その後、遠心分離器(3,000 rpm×10分)にかけ、上澄み液を得た。洗いをおこなって残渣には、サンプルの9.0 mLの蒸留水を加え、軽く攪拌し、遠心分離器(3,000 rpm×10分)にかけた。酵素反応後に得られた上澄み液をデンプン抽出液とした。

得られた各画分(中性糖)はフェノール-硫酸法によって比色定量した。適当な濃度に希釈した0.5 mLの各画分に5% フェノール水溶液を0.5 mL加え、その後、濃硫酸2.5 mLを添加した。添加後、速やかに攪拌し、十分に発熱させた。30~40分後、分光光度計で測定した。測定波長は490 nmとした。

(2) 簡易抽出、比色定量法

杉山ら(1992)および杉山・大城(2001)の報告を参考にニホンナシの新梢用に改良した。0.2 g 乾物重の微粉碎試料に蒸留水を4.5 mL加え、湯せんの中で煮沸(10分間)した。試験管内の試料の突沸を防ぐために、90~93°Cで行った。その後、濾紙で濾過した。さらに、残渣には20 mLの蒸留水を加え、洗いながら濾過した。得られた濾液をデンプン抽出液とした。

得られた抽出液のデンプン含量は杉山・大城(2001)のヨウ素比色法(以後、簡易比色法とする)で定量した。得ら

れた30 mLのデンプン抽出液に6 mol・L⁻¹ HClを50 μLを加え、攪拌した。さらに、0.05 mol・L⁻¹ ヨウ素溶液(2.0 mL)を添加し、攪拌後、蒸留水で50 mLに定容した。定容後のサンプルの吸光度は660 nmに設定した分光光度計で測定した。

2. 2. 2 食塩水散布による落葉期前進が枝や根の貯蔵デンプン量におよぼす影響

2009年と2010年に実施した研究項目2. 1. 2で食塩水の散布時期を変えたことにより、処理樹の落葉時期が無処理樹に比べて段階的に早まった。それらの供試樹であるニホンナシ‘豊水’、‘新興’から採取した1年枝、セイヨウナシ‘ル レクチエ’苗木の地上部と地下部のサンプルを用いて貯蔵デンプン量の分析を実施した。

2009年、‘豊水’は満開160日後、170日後、180日後の6%食塩水散布処理樹および無処理樹から採取した1年枝、‘新興’は満開189日後、199日後処理樹および無処理樹から採取した1年枝を用いた。‘ル レクチエ’苗木は前年10月16日、26日、11月6日処理樹および無処理樹の各6樹の地上部(先端部、中央部、基部)と地下部(根)に分けてサンプリングした。ニホンナシ、セイヨウナシともに2009年12月7日に採取し、70°Cで乾燥後に粉碎し、分析に用いた。

2010年は、‘豊水’が満開160日後、170日後、181日後の6%食塩水散布処理樹および無処理樹から採取した1年枝、‘新興’は満開188日後、196日後処理樹および無処理樹から採取した1年枝を用いた。枝は2010年12月9日に採取し、前年度同様に乾燥、粉碎し分析に用いた。

貯蔵デンプン量の分析は、研究項目2. 2. 1で開発した簡易抽出比色定量法を用いて実施した。

2. 3 落葉期前進が翌年の樹体生育に及ぼす影響

2. 3. 1 成木の落葉期前進が翌年の樹体生育、果実品質におよぼす影響

2009年と2010年に実施した研究項目2. 1. 2において食塩水の散布時期を変えたニホンナシ、‘豊水’と‘新興’の処理樹および無処理樹を供試した。処理翌年の新梢伸長、果実横径肥大の経過および収穫時果実品質を各樹15本、15果ずつ調査した。

2. 3. 2 ‘ル レクチエ’苗木の落葉時期が翌年の樹体生育に及ぼす影響

2009年の10月16日、28日、11月6日に6%食塩水

を散布した苗、および無散布苗各 6 樹を容量 30 リットルのポットに植栽し、2010 年に先端新梢の伸長と葉色の変化を測定した。

2. 4 落葉時期前進が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響

台湾へ輸出する「高接ぎ梨」用の穂木を想定し、食塩水散布により落葉時期を変えた樹から採取した花芽が着生した穂木を供試し、2010 年と 2011 年に花芽穂木高接ぎ栽培の試作を国内(新潟県)で実施した。さらに、2010 年冬から 2011 年にかけて、台湾での試験も実施した。

2. 4. 1 前年の落葉時期が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響(国内での試作)

穂木の採取:2010 年は、新潟県農業総合研究所園芸研究センター試験ほ場において前年秋に食塩水散布処理した樹と無処理樹の「豊水」、「新興」(2. 3. 1 と同一樹)から 2 月にえき花芽の着生した穂木を採取した。2011 年は、同様に新潟県農業総合研究所園芸研究センター試験ほ場で 3 月 14 日に「豊水」、「新興」の穂木を採取した。さらに、2011 年は実際に輸出用穂木を生産している新潟市江南区の 2 ほ場の「新興」に対し 11 月 3 日、11 月 10 日に 6% 食塩水を散布して早期落葉させ、輸出時期を想定して 11 月 10 日、11 月 20 日に採取した穂木、および無処理で自然落葉した後に 11 月 30 日に採取した穂木も供試した。いずれの枝もポリエチレン袋に入れ、春まで 5℃ の冷蔵庫で保存した。

高接ぎ:新潟県農業総合研究所園芸研究センター試験ほ場において、2010 年は、4 月 9 日、2011 年は 4 月 13 日に 2010 年時点で 30 年生の「天の川」に高接ぎした。接ぎ木活着状況、開花結実状況、果実肥大、収穫時果実品質について調査した。

2. 4. 2 落葉時期が台湾における花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質に及ぼす影響

上述の新潟市江南区のナシ輸出用穂木生産園 2 カ所(割野地区、茅野山地区)の「新興」の 2010 年 11 月 10 日、20 日に採取した枝、および無処理の 11 月 30 日に採取した枝を供試した。それらの枝を 5℃ で貯蔵し、2011 年 1 月 5 日に台湾に輸出した。1 月 11 日に台中縣石岡郷のナシ園において「横山梨」に高接ぎした。開花、結実、肥大状況について調査した。

3. 研究結果

3. 1 食塩水による落葉促進効果の検討(分担:園芸研究センター)

3. 1. 1 食塩水の処理濃度が落葉におよぼす影響

「新興」:2009 年の無処理区の落葉期(80% 落葉)は 11 月 24 日であった。散布を実施した区では散布 6 日後頃から落葉がみられ、その後は散布した食塩水濃度が高い区ほど落葉が早く推移した(Fig. 1)。最も落葉が促進された 6% 区では散布 13 日後(11 月 10 日)に落葉が 80% 以上に達し、無処理に比べて落葉期が 14 日早まった。2010 年は散布後の落葉は散布 2 週間目頃から始まり、その後 1 週間程度で 80% に達したが、無処理区に比べた落葉促進効果は 5 日程度であった。3~10% の範囲では処理濃度による落葉促進効果の差は認められなかった(Fig. 2)。

「ル レクチェ」:2 カ年とも散布処理後に葉の褐変は見られたものの、落葉の進展は枝によって差があり、散布区の落葉の開始は無処理区とほぼ同時期であり、処理による落葉期の差はほとんど見られなかった(Fig. 3, 4)。

3. 1. 2 食塩水の散布時期が落葉に及ぼす影響

3. 1. 2. 1 散布時期がニホンナシ成木の落葉に及ぼす影響

「豊水」:2009 年、食塩水散布を実施した樹では、いずれの処理においても散布翌日から葉が褐変し、散布 1 週間後頃から落葉が始まり、その後 1 週間以内に急激に落葉が進展して 75% 以上が落葉し、概ね落葉期の状態となった(Fig. 5, 7)。しかし、葉の一部が褐変しても黄変せずに 11 月下旬まで樹上に残る葉もわずかにみられた。9 月 27 日処理樹の一部の枝では花芽の不時開花が認められた(Fig. 8)。2010 年は開花時期が遅かったため、散布開始時期が前年に比べ 10 日遅くなった。食塩水散布処理により散布後概ね 5~7 日で落葉が始まり、10 日程度で 80% に達した(Fig. 6)。前年見られた不時開花は認められなかった。

「新興」:2009 年は、食塩水散布樹では両区とも処理後数日で落葉が始まり、処理後 2 週間以内に落葉率が 80% に達した(Fig. 9)。2010 年は、満開 188 日後(11 月 4 日)散布区では前年同様に処理後 1 週間程度で落葉が始まり、2 週間で 80% 以上の落葉となった。11 月 12 日処理も概ね同様に落葉したが、無処理区の落葉期と比べて 1~2 日早まる程度であった(Fig. 10)。

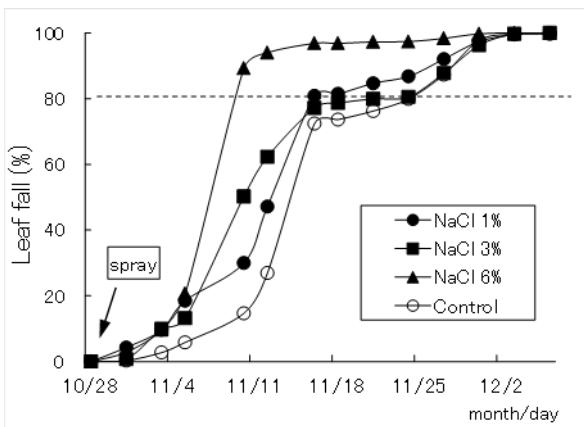


Fig. 1. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Shinko' pear (2009)

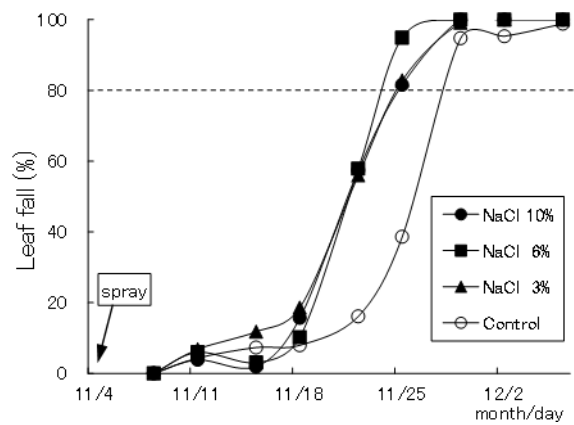


Fig. 2. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Shinko' pear (2010)

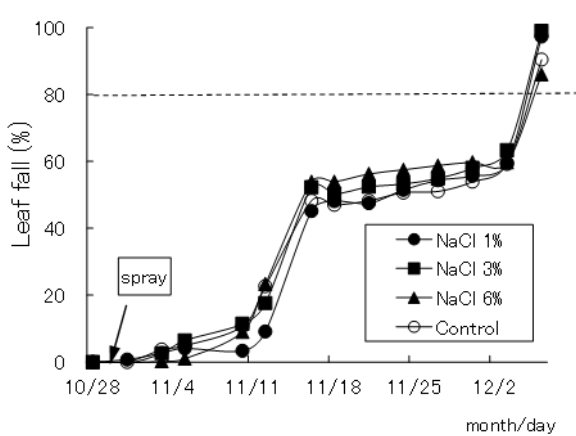


Fig. 3. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Le Lectier' pear (2009)

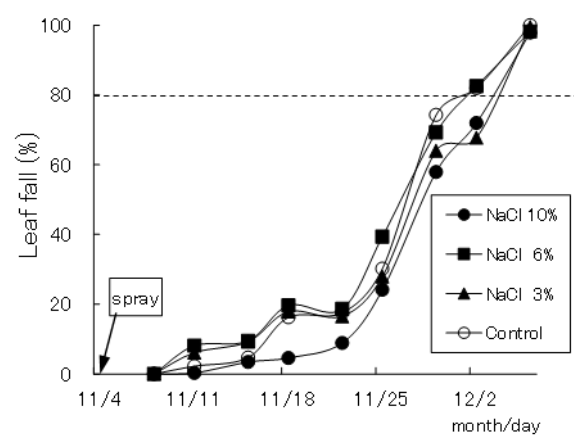


Fig. 4. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Le Lectier' pear (2010)

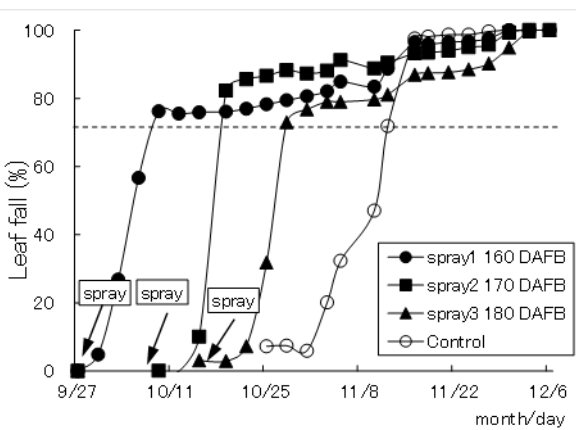


Fig. 5. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Housui' pear (2009)

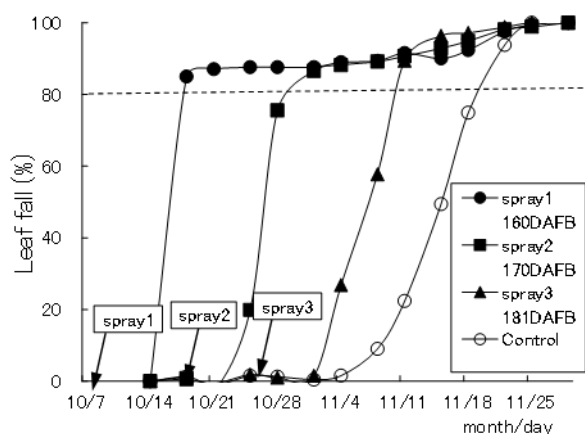


Fig. 6. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Housui' pear (2010)



Fig. 7. Defoliation of sprayed 'Hosui' pear and control tree on Nov. 3, 2009



Fig. 8. Unseasonable blooming of 'Hosui' pear

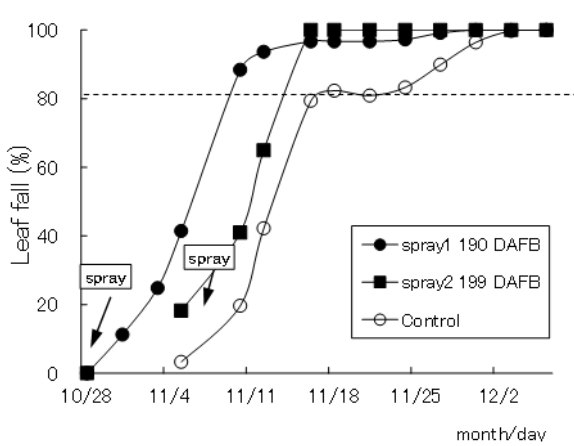


Fig. 9. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Shinko' pear (2009)

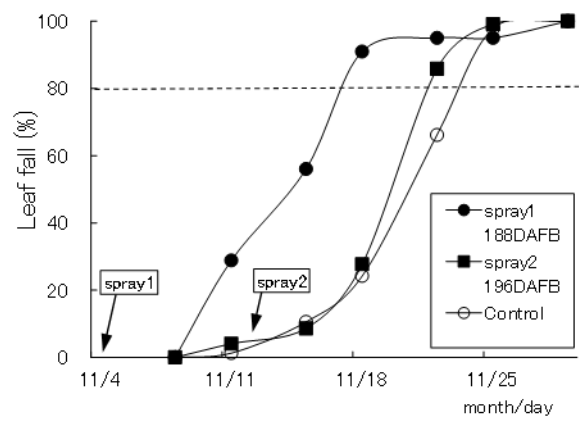


Fig. 10. Effects of NaCl spray after harvesting on the leaf fall of 'Shinko' pear (2010)

3. 1. 2. 2 散布時期がセイヨウナシ苗木の落葉に及ぼす影響

散布直後には葉の表面に結晶化した塩が観察された。散布後 3 日目には葉の褐変が確認されたが、落葉はみられなかった。

散布後の落葉進展は区により異なったため、落葉がある程度落ち着いた時点を落葉安定期として比較した。各区とも散布後 18~19 日で落葉安定期に至ったが、その時の落葉率には有意差があり、遅く散布した区ほど落葉率は向上した (Fig. 11)。

葉位別に落葉率を比較すると無処理区では上位葉と下位葉の落葉進展に差はみられなかったが、塩水を処理した区では、上位葉に比べ下位葉の落葉が促進された (データ略)。

3. 2 落葉期前達が樹体栄養に及ぼす影響の解明 (分担:新潟大学大学院)

3. 2. 1 デンプンの簡易抽出法ならびに簡易測定法の検討

簡易抽出法は杉山ら (1992) および杉山・大城 (2001) の報告を参考にニホンナシの枝用にサンプル量や抽出方法を改良した (Fig. 12)。簡易比色法は杉山・大城 (2001) の報告に従い、ヨードカリ比色法 (Fig. 13) を採用し、定量可能であることを確認した。また、簡易抽出法のデンプン画分の採集法に合わせ、一般的な抽出方法である Kojima 法についても改変し、オリジナルの手法に比べてより正確に枝中のデンプン含量を定量できることを確認した (Fig. 14)。

抽出方法ならびに測定方法の検討後、実際に改変 Kojima 法で抽出したデンプン画分をフェノール-硫酸法で比色定量し、簡易法で抽出したデンプン画分を簡易測定法であるヨードカリ比色法で測定し、算出された値を比較した。新梢の全部位において、測定方法の違いによるデンプン含量の差は認められなかった (Fig. 15)。

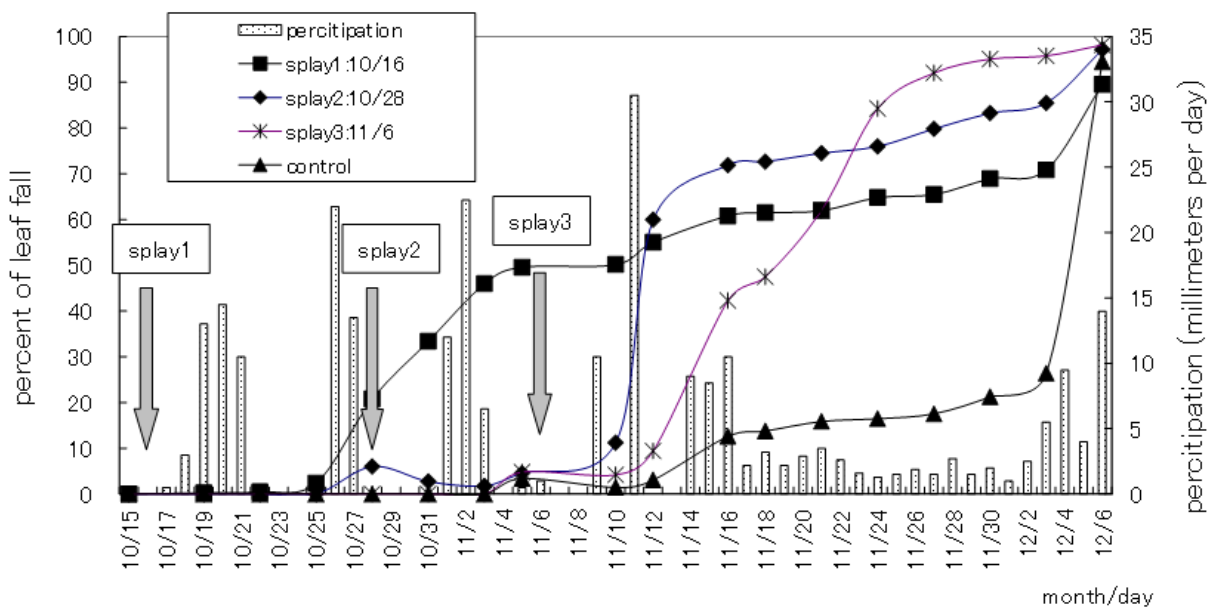


Fig. 11. Percent of leaf fall after salt spray treatment on nursery plant of 'Le Lectier' pear

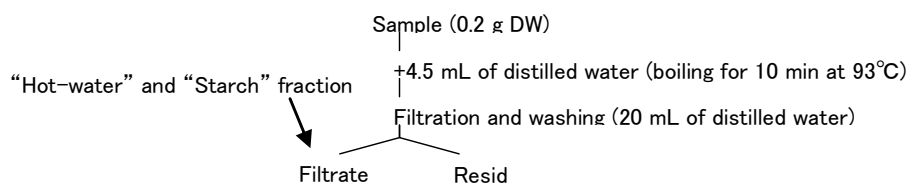


Fig. 12. Flow diagram for the simple extraction method of starch in branches of Japanese pear

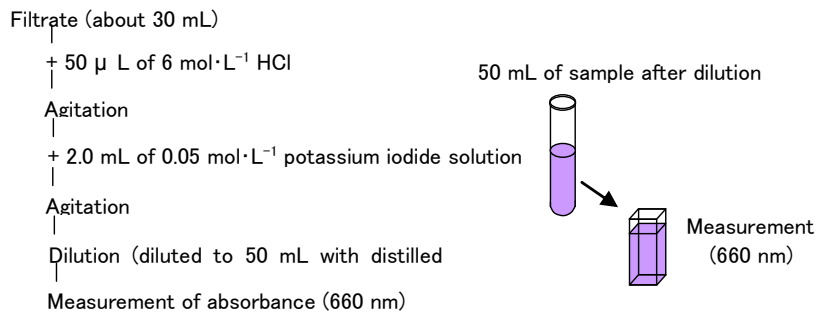


Fig. 13. Flow diagram for the simple assay method of starch in branches of Japanese pear

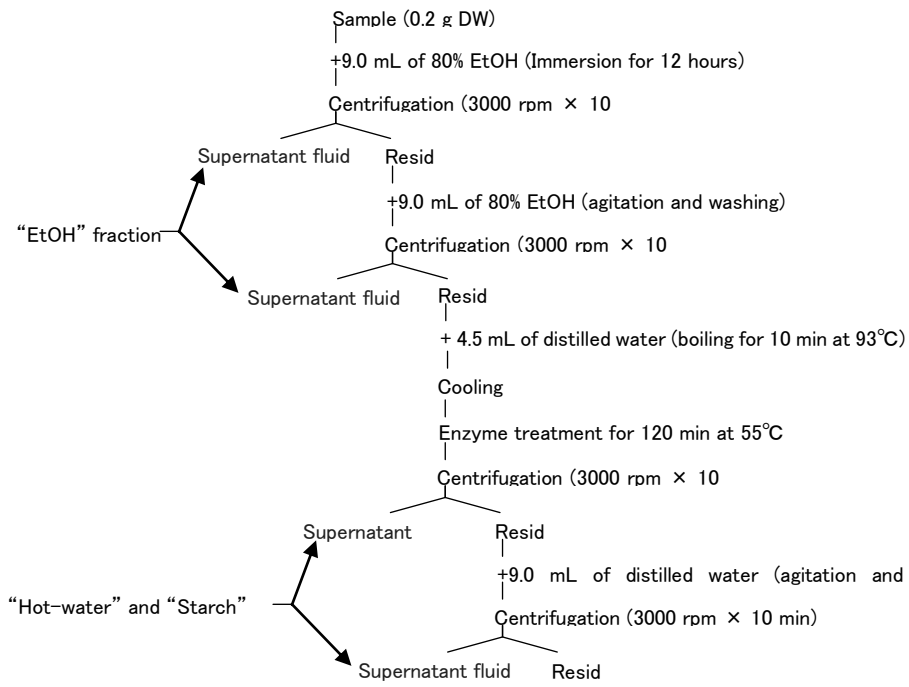


Fig. 14. Flow diagram for the extraction method of starch in branches of Japanese pear (modified Kojima's method)

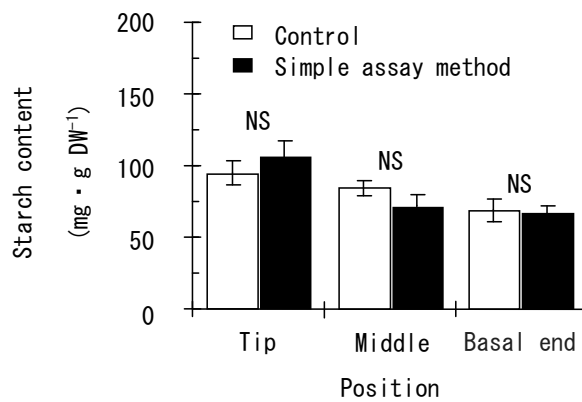


Fig. 15. Starch contents of branches in Japanese pear 'Shinko' measured by different two methods. Vertical bars indicate SE (n=6 (Tip and middle position) or 5 (Basal end position)), NS indicates non-significant at P=0.01 by t-test.

測定方法の違いによるデンプン含量の差が認められなかったことから、簡易法(簡易抽出法で抽出した後にヨードカリ比色法で定量)で測定した値と通常法(改変 Kojima 法で抽出した後にフェノール-硫酸法で定量)で測定した値の相関を調査した(Fig. 16)。その結果、簡易法と通常法の値の間には正の相関が認められた。相関係数($r = 0.856$)は1%水準で有意であり、 $y = 0.714x + 23.16$ の回帰式が得られた。

3. 2. 2 食塩水散布による落葉期前進が枝や根の貯蔵デンプン量におよぼす影響

デンプン含量の分析値は、2009 年と 2010 年で差があったが、無処理区を基準とした処理区の相対的なデンプン含量は‘豊水’、‘新興’の 2 品種とも、2 カ年で同様の傾向を示した。

‘豊水’において、満開 180~181 日後処理区では無処理区とデンプン含量に有意な差は認められなかったが、160 日後処理、170 日後処理では無処理に比べて貯蔵デンプン量が有意に少なかった。処理時期が早いほど貯蔵デンプン量は少なくなった(Fig. 17)。

‘新興’では、満開 188~189 日後処理区、196~199 日後処理区ともに無処理に比べて貯蔵デンプン量が少なかった。処理時期が早い区でデンプン量が少ない傾向も認

められた(Fig. 18)。

‘ル レクチエ’の苗木においても地上部の乾物率(データ略)、乾物重当たりのデンプン含量は処理が早い苗ほど低くなった。特に根はデンプン含量が高いため、処理による差が顕著であった(Fig. 19)。

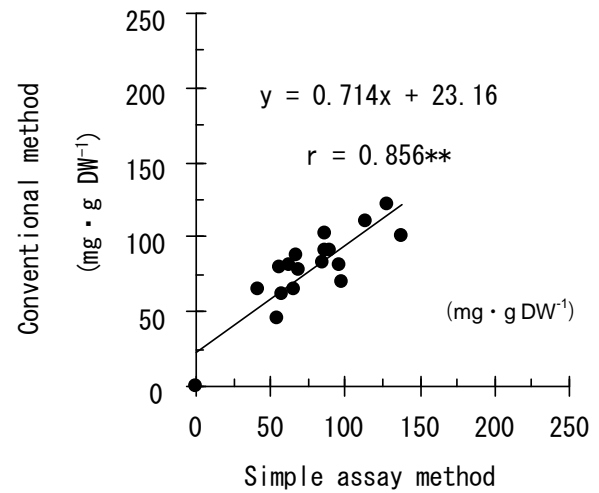


Fig. 16. Correlation of the starch contents measured with the simple assay method and the conventional method.

** indicates significant at $P=0.01$.

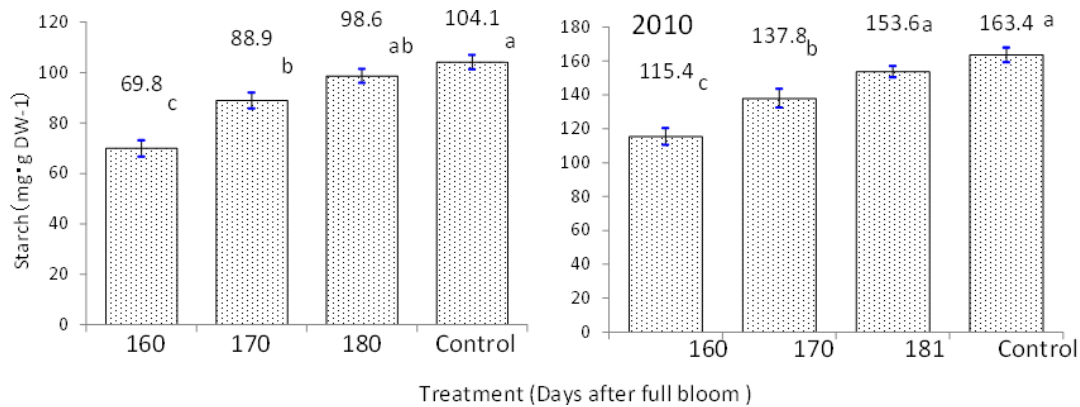


Fig. 17. Effects of NaCl spray on starch content in branches of ‘Hosui’ pear. Bars represent SE ($n=27$), and different column letters show a significant difference at $p < 5\%$ (Tukey’s multiple comparison test)

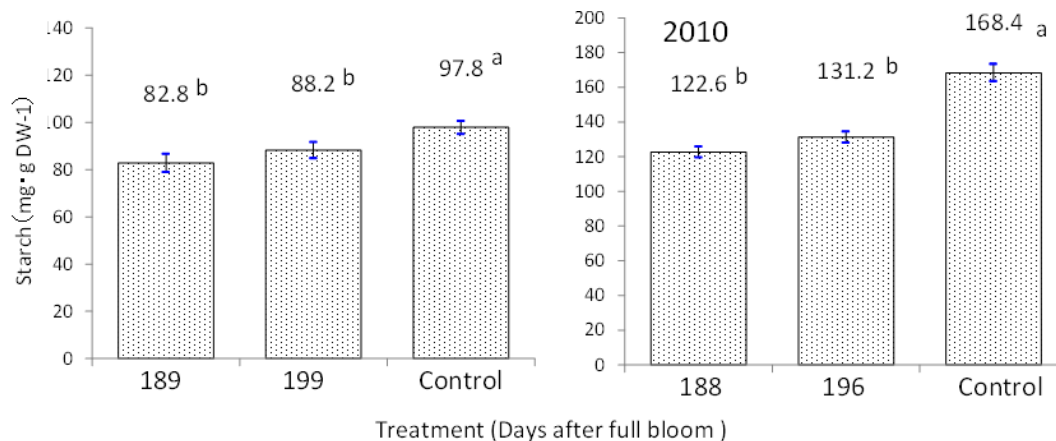


Fig. 18. Effects of NaCl spray on starch content in branches of 'Shinko' pear. Bars represent SE (n=27), and different column letters show a significant difference at P<5% (Tukey's multiple comparison test)

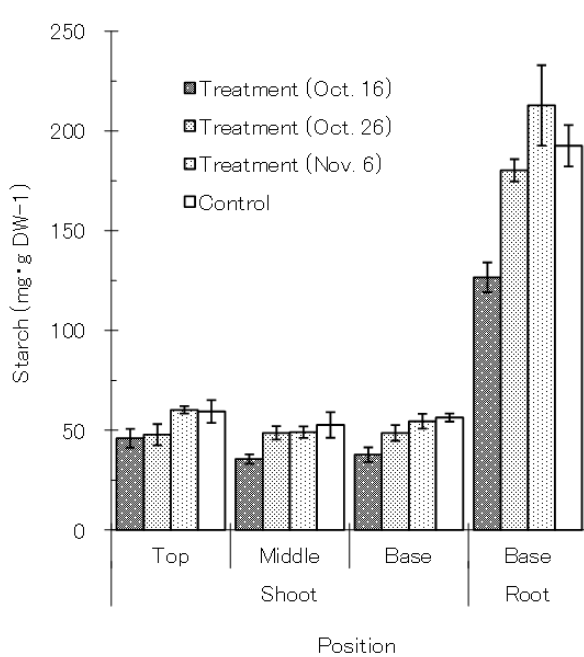


Fig. 19. Effects of NaCl spray on starch content in nursery plant of 'Le Lectier' pear. Bars represent SE (n=6)

3.3 落葉期前進が翌年の樹体生育に及ぼす影響

3.3.1 成木の落葉期前進が翌年の樹体生育、果実品質におよぼす影響

新梢伸長:2010年は、'豊水'の160日後処理区で初期

の伸長が劣る傾向がみられたが、両品種とも、生育期間を通じて新梢長に有意差は認められなかった (**Fig. 20**)。連年処理後の2011年は、'豊水'の5月下旬~6月上旬において新梢伸長に有意な差が認められた。その後有意差はなくなったが、160日後処理樹の新梢は最終的に短い傾向を示した (**Fig. 21**)。'新興'では、生育期前半で満開188日後処理区の新梢伸長がやや劣る傾向を示したが、全期間を通じて有意な差は認められなかった。

果実肥大:2010年は2品種とも、生育期間を通じて果実横径に有意差は認められなかった (**Fig. 22**)。2011年は、'豊水'で6月中旬から7月上旬にかけて処理による有意差が認められ、170日後処理区において無処理区と比較して横径が劣ったが、7月中旬以降は有意な差は認められなくなった。'新興'では、調査期間を通じて、満開188日後処理区の横径が無処理に比べて有意に低く、肥大が劣った (**Fig. 23**)。

収穫果実品質:2010年は、'新興'の果肉硬度に有意差が見られたが、それ以外の品質に差は認められなかった (データ略)。2011年は、'豊水'で糖度、酸味に処理による影響が認められた。糖度は無処理に比べて満開170日後処理樹で低くなった (**Table 1**)。'新興'は果重、果肉硬度、糖度に処理による影響が認められ、果重は無処理樹に比べて満開後188、196日処理樹で低くなった。一方、糖度は無処理樹に比べて満開後188日処理樹で高くなった (**Table 2**)。

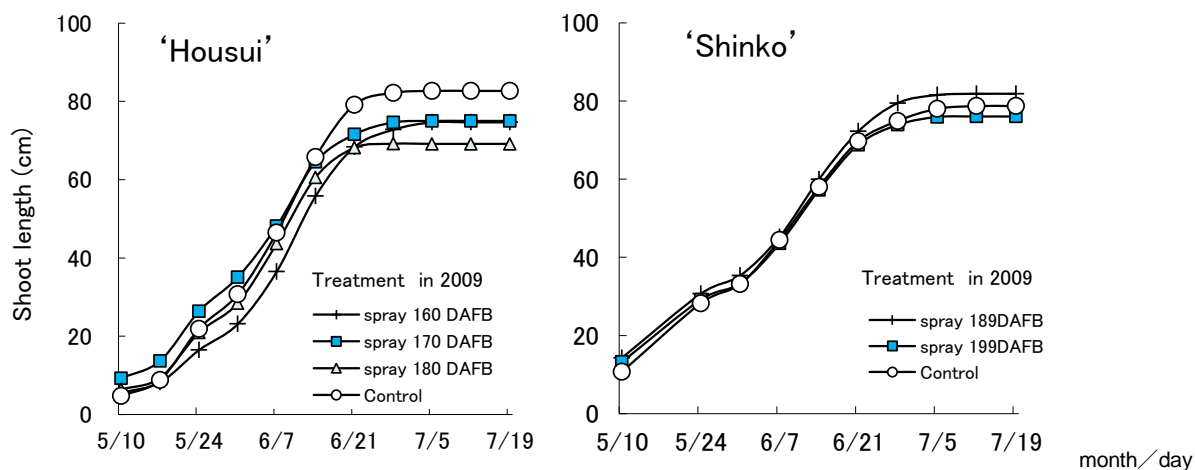


Fig. 20. Effect of NaCl spray on following year shoot growth of 'Housui' and 'Shinko' pear (2010)

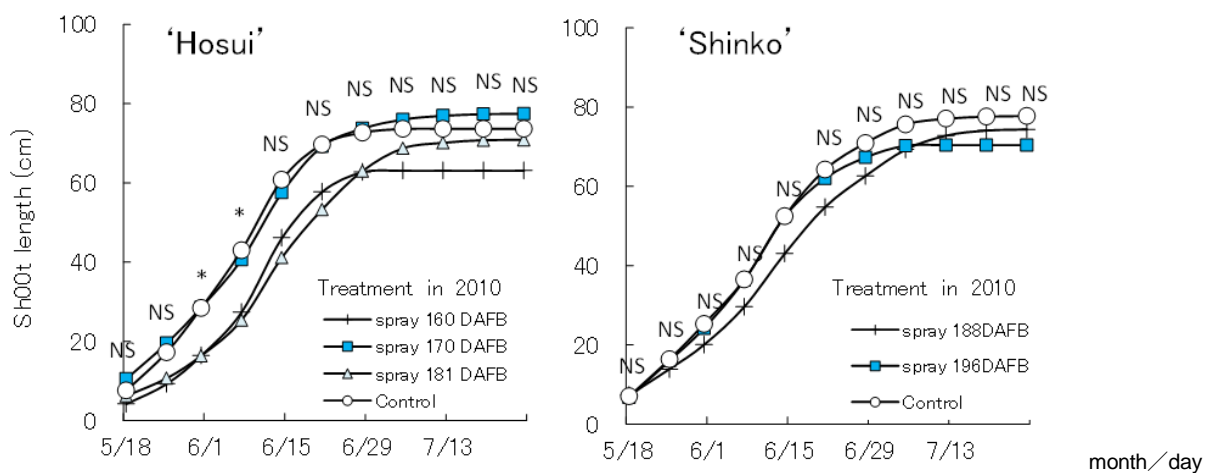


Fig. 21. Effect of NaCl spray on following year shoot growth of 'Housui' and 'Shinko' pear (2011). * Indicates significant at $P < 5\%$.

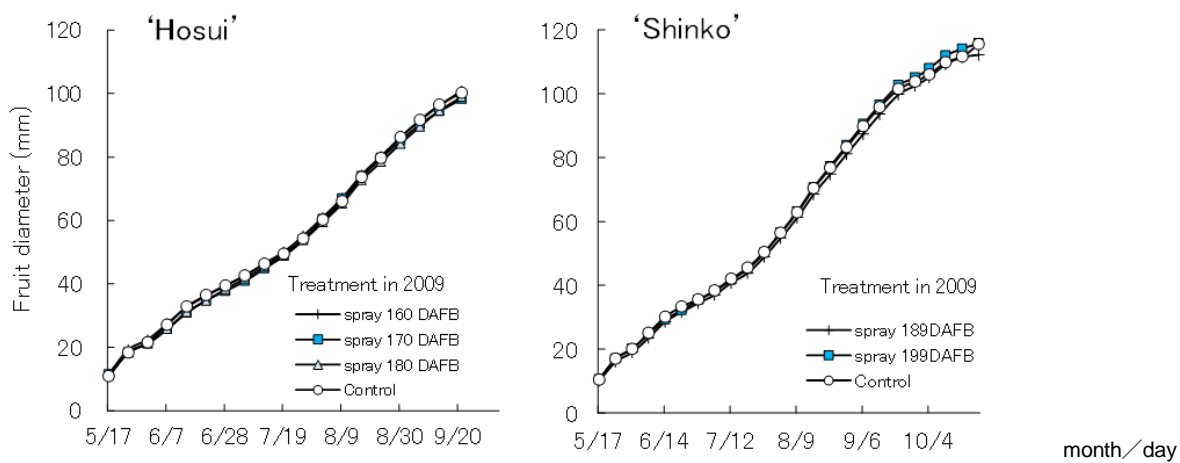


Fig. 22. Effect of NaCl spray on following year fruit growth of 'Housui' and 'Shinko' pear (2010)

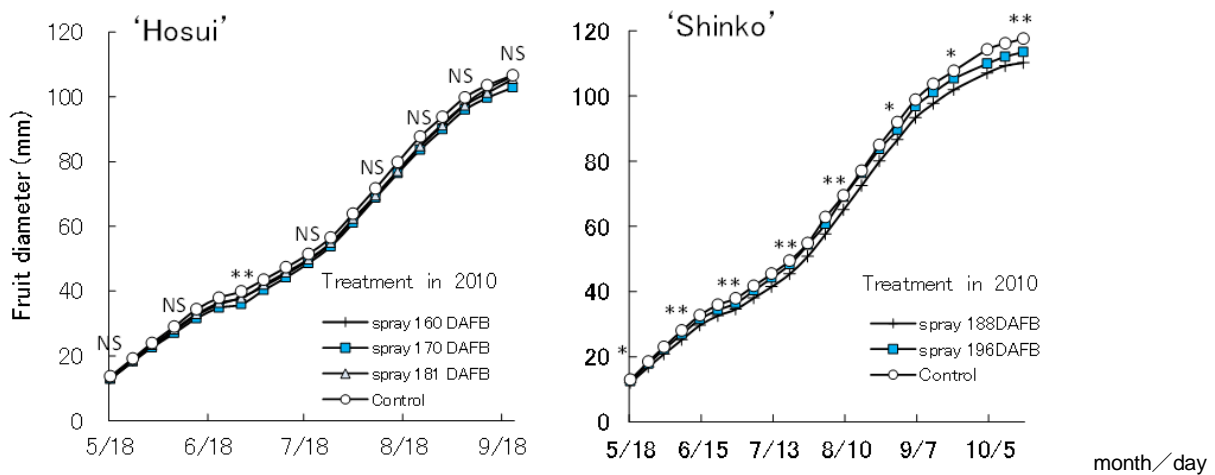


Fig. 23. Effect of NaCl spray on following year fruit growth of ‘Housui’ and ‘Shinko’ pear (2010). * indicates significant at P<5% , and ** indicates at P<1% .

Table 1. Effect of NaCl spray on following year fruit quality of ‘Hosui’ pear (2011)

Treatment in 2010	number of fruits	Fruit weight (g)	Fruit hardness (lbs)	Brix (%)	pH
160 DAFB	14	618	4.5	11.9 ab	4.85 b
170 DAFB	14	572	5.1	11.8 b	4.89 ab
181 DAFB	12	590	4.8	12.1 ab	4.97 a
Control	14	620	5.0	12.3 a	4.94 ab
F-test	F	0.7	1.6	2.9	4.1
	P	0.55	0.21	0.04	0.01
		ns	ns	*	*

* indicates significant at P<5% , different letters show a significant difference at p<5% (Tukey’s multiple comparison test).

Table 2. Effect of NaCl spray on following year fruit quality of ‘Shinko’ pear (2011)

Treatment in 2010	number of fruits	Fruit weight (g)	Fruit hardness (lbs)	Brix (%)	pH
188 DAFB	14	706 b	7.2 a	12.5 a	4.1
196 DAFB	14	758 b	6.5 b	12.2 ab	4.0
Control	13	848 a	6.8 ab	11.9 b	4.1
F-test	F	8.3	4.3	3.6	1.4
	P	0.00	0.02	0.04	0.26
		**	*	*	ns

* indicates significant at P<5% , ** indicates at P<1%. different letters show a significant difference at p<5% (Tukey’s multiple comparison test).

3. 3. 2 ‘ル レクチエ’ 苗木の落葉時期が翌年の樹体生育に及ぼす影響

新梢伸長の推移をみると最終的な伸長量に差は見られなかったが初期生育の部分で無処理区のほうが塩水散布区に比べて伸長量が多く、前年の処理による影響が認められた(Fig. 24)。葉色については無処理区と塩水散布処理区との違いは判然としなかった(データ略)。

3. 4 落葉時期前進が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響

3. 4. 1 前年の落葉時期が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響(国内での試作)

2010年:接ぎ穂は全て活着し、接ぎ木後2~3週間で発芽期となったが、前年の処理にかかわらず花蕾の発育が不良であり、開花花芽率は‘豊水’で75~100%、‘新興’では25~50%であった。多くの花が小さく、花梗が短かった。開花期間に数回受粉したが、着果数は少なかった。ただし、前年の処理による影響は認められなかった(Table 3, Fig. 25)。

夏季に高温による果実の日焼けが発生し、調査果実数が少なくなったため、果実肥大や果実品質への影響は判然としないが、前年の処理による影響は認められなかった(データ略)。

2011年:発芽期は園芸研究センターで採取した穂木に比べて新潟市で採取した穂木が10日程度遅れた。開花花芽率は‘豊水’で80~100%、‘新興’では67~100%で、園芸研究センターの連年処理樹から採取した穂木の開花率は無処理に比べて低く、散布処理による落葉期前進の影響が認められた。開花数も同様の傾向を示した(Table 4)。一方、新潟市(割野、茅野山)で採取した穂木の開花率、開花数については処理の影響が判然としなかった。

3. 4. 2 落葉時期が台湾における花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質に及ぼす影響

接ぎ木活着率はいずれの区も100%であったが、開花花芽率は「割野」の無処理が100%であったのに対し、処理区は20~60%と低くなった。しかし、「茅野山」では逆に無処理区の値が低く、処理による一定の傾向は認められなかった(Table 5)。結実花芽率と花芽当たり着果数においても開花花芽率と同様の傾向が認められたが、処理の影響は認められなかった。ただし、それぞれの区の花芽当たり着果数は国内(新潟園研)で接ぎ木実施した結果と概ね一致していた。

果実品質は、11/20採穂区の品質が劣る傾向がみられたが、これは調査果実を一斉収穫としたための品質差も影響していると考えられ、処理影響は判然としなかった(Table 6)。

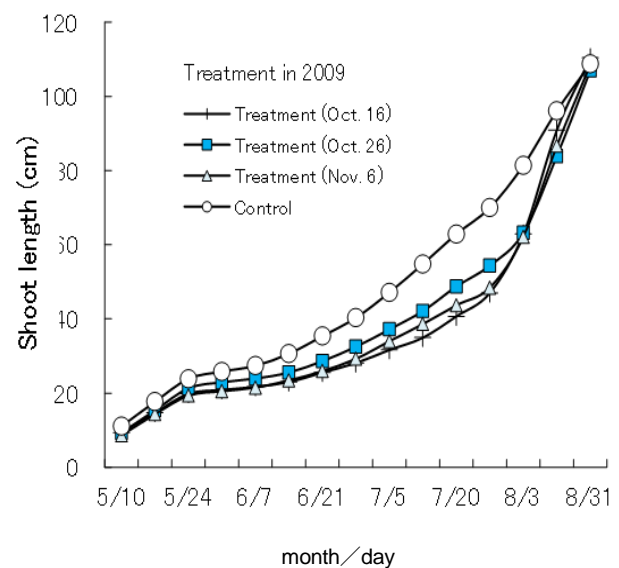


Fig. 24. Effect of NaCl spray on following year shoot growth of ‘Le Lectier’ narsely plant (2010)

Table 3. Effects of NaCl spray treatment on following year development in flower bud grafted Japanese pear (2010)

Cultivars	Period of previous autumn NaCl spray	% of graft-take	Bud break period	% of flowering bud	Full bloom stage	No. of flowers / bud	No. of fruit set / bud
Hosui	160 DAFB	100	Apr.23	100	May 8	5.5	4.8
	170 DAFB	100	Apr.24	88	May 10	4.1	3.7
	180 DAFB	100	Apr.22	75	May 9	3.8	2.3
	Control	100	Apr.22	88	May 9	4.4	2.7
Shinko	190 DAFB	100	Apr.28	50	May 12	2.3	2.3
	199 DAFB	100	May 1	38	May 13	2.3	2.3
	Control	100	Apr.28	25	May 12	2.0	2.0

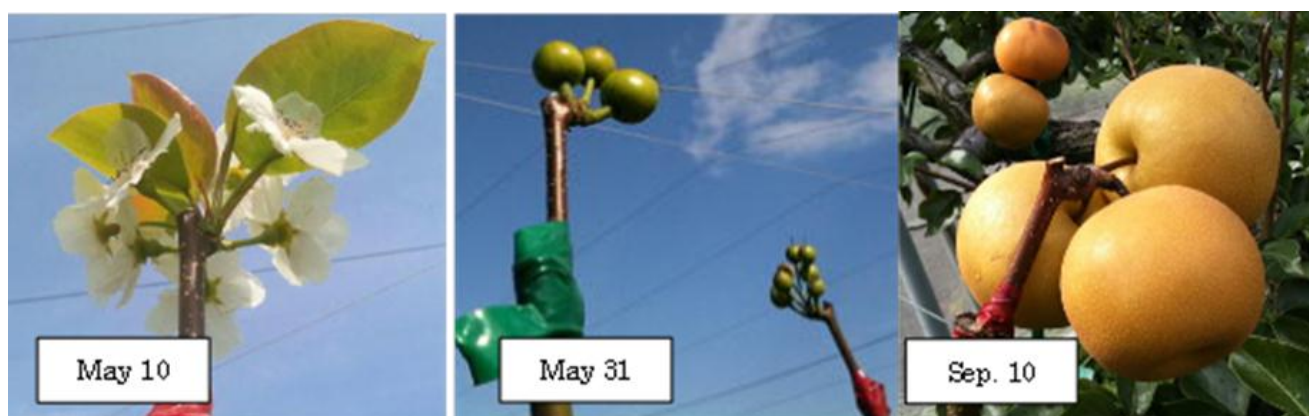


Fig. 25. Development of flower bud grafted Japanese pear

Table 4. Effects of NaCl spray treatment on following year development in flower bud grafted Japanese pear (2011)

Sampling place of scion	Variety	Period of previous autumn NaCl spray	% of graft-take	Bud break period	% of flowering bud	Full bloom stage	No. of flowers /bud	No. of fruit set /bud
Seiro(Niigata Horticultural Research Center)	Hosui	160 DAFB	100	Apr.24	100	May 4	4.0	0.8
		170 DAFB	100	Apr.25	80	May 6	2.6	0.8
		181 DAFB	100	Apr.25	80	May 5	2.4	0.6
		Control	100	Apr.25	100	May 5	4.8	0.8
	Shinko	188 DAFB	100	Apr.25	80	May 6	2.4	0.6
		196 DAFB	100	Apr.25	80	May 5	2.8	0.8
Niigata (Warino)	Shinko	Control	100	Apr.25	100	May 7	6.4	0.2
		Nov.3	100	May 4	100	May 13	5.3	4.3
		Nov.11	100	May 5	100	May 14	4.3	2.3
Niigata (Chinoyama)	Shinko	Control	100	May 4	100	May 13	4.7	4.3
		Nov.3	100	May 2	67	May 12	7.5	4.3
		Nov.11	100	May 3	100	May 13	2.0	0.7
		Control	100	May 3	67	May 13	2.7	1.0

Table 5. Effects of NaCl spray treatment on following year development in flower bud grafted Japanese pear in Taiwan (2011)

Sampling place of scion	Treatment Day of sampling	% of graft-take	% of flowering bud	Full bloom stage	% of fruit-set bud	day of fruit thinning	No. of fruit /bud		Fruit diameter (mm) Apr.5
							Before thinning	After thinning	
Niigata (Warino)	Nov.10	100	20	Feb.13	20	Mar.15	5.0	3.0	35.1
	Nov.20	100	60	Feb.13	60	Mar.15	3.3	2.0	34.0
	Nov.30	100	100	Feb.13	100	Mar.15	5.6	2.6	33.8
Niigata (Chinoyama)	Nov.10	100	60	Feb.14	60	Mar.15	3.7	2.7	21.0
	Nov.20	100	60	Feb.14	60	Mar.15	1.0	1.0	23.8
	Nov.30	100	40	Feb.14	40	Mar.15	2.5	2.0	22.4

Table 6. Effects of NaCl spray treatment on following year fruit quality in flower bud grafted Japanese pear in Taiwan (2011)

Treatment		No. of fruit	Fruit yeild (g)	Fruit weight (g)	Fruit hardness (lbs)	Brix (%)	pH
Sampling place of scion	Day of sampling						
Niigata (Warino)	Nov.10	3	2856	952	6.7	11.3	4.8
	Nov.20	5	2681	536	8.1	9.5	4.7
	Nov.30	7	5019	717	6.2	10.8	4.6
Niigata (Chinoyama)	Nov.10	7	5044	721	5.6	10.4	4.7
	Nov.20	2	1803	902	8.7	9.1	4.8
	Nov.30	4	3378	844	6.7	11.7	4.8

4. 考 察

4. 1 食塩水による落葉促進効果の検討(分担:園芸研究センター)

4. 1. 1 食塩水の処理濃度が落葉におよぼす影響

飯久保・西田(1959)は、果樹の潮風害に関する研究の中で、海水を各種樹種に散布したところ、落葉果樹は常緑果樹に比べて落葉が多く、柿では品種間差も認められるとしている。本研究においても、食塩水の散布により落葉が早まる効果が認められ、2009年の試験結果では1~6%の範囲で処理すると濃度の濃いほうが落葉の促進効果は高かった。2010年は3%、6%、10%の処理をした結果、濃度による効果の差は認められなかった。2カ年の結果が異なった理由として、散布時刻の違いが考えられる。飯久保・西田(1959)は、葉面に散布された海水の塩分の葉内への侵入速度は、湿度によって左右され、湿度が高いと侵入量が多く、湿度が低いと海水は早く乾燥して塩分が固形となり葉内に侵入しにくくなるとしている。2009年の散布は晴天日の午前中に実施し、2010年は夕方4時以降に実施していることから、散布後の乾燥までの時間が効果に差を及ぼしていたと推察される。これらのことから、ニホンナシ‘新興’では3~6%の食塩水を夕方に散布することで効果的に葉の褐変を引きおこし、8割程度の葉を落葉させる落葉促進効果が得られることが明らかになった。

一方、セイウナシ‘ル レクチエ’の成木では、2009年と2010年の試験結果から、1~10%のいずれの濃度の食塩水を散布しても、葉の褐変は認められたものの、落葉は早まらず、剪定時期の前進を目的とした実用的な落葉促進

効果は得られないことが明らかとなった。

樹種による効果の差が認められたことについて、中川ら(1980)はミカン、カキ、ニホンナシ、クリ、ブドウ、ウメの葉に9%の食塩水を処理した結果、ニホンナシの葉の塩分浸透速度が最も早かったとしており、本研究でニホンナシの落葉がセイウナシに比べて促進された理由として、葉の塩分浸透速度の影響が示唆された。

4. 1. 2 食塩水の散布時期が落葉に及ぼす影響

4. 1. 2. 1 散布時期がニホンナシ成木の落葉に及ぼす影響

2カ年の試験結果から、収穫後に‘新興’、‘豊水’の成木に6%食塩水を散布すると、いずれの時期の散布においても、散布約1週間後から落葉が始まり、その後1週間程度で急速に落葉し、散布から2週間程度で落葉は安定する傾向が認められた。2009年は落葉安定時の落葉率は処理時期が遅くなるほど概ね高い傾向であったが、2010年はいずれの時期でも80~90%の高い落葉率を示した。2009年は午前中に散布処理を実施していたのに対し、2010年は夕方散布としたことから、散布した食塩水が乾燥するまでの時間が長くなり、葉への吸収量が多くなり、落葉促進効果が高まった可能性が示唆された。

2カ年の結果から、食塩水がニホンナシの収穫後の落葉促進に対し実用的な効果があることが認められた。収穫終了が早く散布時期の早い‘豊水’において落葉期を大幅に早められることが明らかになった。

なお、‘豊水’では2009年の満開160日後散布区(9月27日散布)において、散布後に不時開花が認められたが、

2010年の同じ満開160日後散布区(10月7日散布)では不時開花は認められなかった。この理由として、散布日の違いが考えられる。竹村ら(2011)は、ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’において、花芽の自発休眠の深さは9月下旬以降深くなり、10月下旬に最も深くなるが、ハウス栽培で生育を早めても休眠導入の時期は変わらないとしている。2009年は9月中の散布であったために自発休眠導入が不十分で、その結果、翌年開花するはずの花芽が開花に至ったと考えられる。本研究では、開花期を基準として処理時期を設定したが、自発休眠の深さを考慮して不時開花を防ぐためには暦日を基準として、10月中旬以降に処理することが良いと考えられる。

4.2 落葉期前進が樹体栄養に及ぼす影響の解明(分担:新潟大学大学院)

2009年の研究により、ニホンナシ‘新興’の新梢に含まれるデンプンは簡易法によって簡便に定量できることを明らかにした。簡易法を用いて、前年に食塩水散布処理したニホンナシ成木の枝、セイヨウナシ苗木の枝、根の貯蔵デンプン量の分析を実施した結果、食塩水散布時期が早いほど、枝、根のデンプン含量が低くなることが明らかとなった。

小野ら(2007)は、リンゴの1年生苗木の掘り取り前に摘葉処理を実施し、摘葉処理時期が早い苗ほどデンプン含量が低下し、その影響として苗木の耐凍性が弱まることや定植後の活着や生育が劣ることを明らかにした。山本・石橋(1986)はナシの苗木の早期の掘り取りや摘葉処理は炭水化物含量を減少させ、翌年の生育量にも影響するとしている。今回の結果も摘葉処理や苗木の早期掘り取りと同様に食塩水の散布による葉の褐変や早期落葉が貯蔵デンプン量に影響を与えていることを示していると考えられる。

宮本ら(2004)は樹齢の異なるモモ樹の炭水化物含量の季節的变化を調査し、3~4年生の幼木は成木に比べて年間を通じてデンプンや糖の含量が低く推移し、それが耐凍性の低下につながり、幼木が成木に比べて凍害を受けやすい理由であるとしている。2010年の分析においても、無処理区のデンプン含量がニホンナシ成木では100 mg/g DW前後であったのに対し、セイヨウナシ苗木では50 mg/g DWと低い値であり、食塩水散布処理した区ではさらに低い値となっていた。

これらのことから、食塩水散布による葉の褐変、落葉促進は貯蔵デンプン量に影響を与え、特に苗木では耐凍性低下や翌年の生育への影響が懸念された。

4.3 落葉期前進が翌年の樹体生育に及ぼす影響(分担:園芸研究センター)

4.3.1 成木の落葉期前進が翌年の樹体生育、果実品質におよぼす影響

‘豊水’、‘新興’の成木において、2010年は、食塩水散布と落葉期の前進が翌年の新梢長や果実肥大、果実品質に対して及ぼす影響はほとんど認められなかった。林・田辺(1991)はニホンナシにおいて、開花から1ヶ月後までは前年の同化養分によって新葉展開や果実肥大が左右され、その後の養分転換期以降は新葉の光合成による同化養分による発育に移行すると述べている。この観点から見ると、‘豊水’においてもっとも処理時期の早い160日後処理区において5~6月の新梢伸長が無処理区に比べて劣る傾向が見られており(Fig. 8)、前年の落葉期前進の影響が示唆されるが、それ以外では前年の同化養分の影響を受けやすいとされる5月の新梢伸長、果実肥大で無処理区に劣る傾向は認められず、成木での10月以降の食塩水散布による影響は少ないと考えられた。しかし、2011年、連年処理した樹の新梢伸長や果実肥大に影響が認められた。林ら(1991)はナシの大枝や太い根の内側には多くの貯蔵デンプンが蓄えられており、単年で貯蔵養分不足の影響は現れにくいとしている。このことから、もともと貯蔵養分が十分な成木では単年処理による翌年への実質的な影響はないが、枝の貯蔵デンプン量の減少からもわかるように、潜在的な影響は受けていると考えられる。そのため、実用化に当たっては、隔年処理や樹体の部分処理といった樹体の貯蔵養分量への影響が少ない方法をとる必要があると思われる。

一方、‘ルレクチエ’苗木においては、ポット定植後の5月から6月の新梢伸長が無処理区に比べて処理区では有意に劣っていた(Fig. 12)。これは、前述の貯蔵デンプン量の分析から予想されたこととも一致している。凍害による枯死や定植後の活着不良は認められなかったが、食塩水散布による葉の褐変、落葉期前進による葉の光合成期間の短縮が貯蔵デンプン含量を低下させ、翌年の生育量の低下につながっていることが推察され、苗木では食塩水散布処理の実用性は低いと考えられた。

4. 4 落葉時期前進が花芽穂木高接ぎ栽培での生育、果実品質におよぼす影響(分担:園芸研究センター)

台湾で実施されている花芽穂木高接ぎ栽培を 2010 年と 2011 年に新潟県農業総合研究所園芸研究センター果樹圃場で試みた。気候が温暖な台湾では12月から1月に接ぎ木を実施するが、それでも接ぎ木後に 5~10°C程度の低温が続くと花蕾の発育不良、着果不良が発生する場合があるとされている。2010 年の新潟県での 4 月上旬の接ぎ木ではその後に 5°Cを下回ることも多かったため、開花芽率、着果数が全体に低くなったが、落葉期前進による悪影響は認められなかった。2011 年は、食塩水散布を連年処理した樹から採取した穂木の開花率や開花数が無処理に比べて低い傾向がみられた。これは、前述の貯蔵デンプン量の分析結果や、翌年の果実肥大への影響とも一致していることから、連年処理による貯蔵養分量の減少が花芽穂木の品質に影響したものと考えられた。

台湾での接ぎ木では、穂木採取園により結果が異なり、処理による影響は判然としなかったが、穂木採取園がいずれも食塩水散布 1 年目であった可能性も考えられる。

これらのことから、食塩水による落葉期前進処理を連年実施した場合、花芽穂木高接ぎ栽培用の穂木品質にも影響する可能性が認められた。

5. 今後の課題

3 カ年の結果から、ニホンナシ成木において 3~6%の濃度の食塩水を散布することによる落葉促進効果が確認できたことから、食塩水または海水が落葉促進に利用できる可能性が明らかとなった。実用的には「豊水」の 10 月中旬散布が有望と考えられる。

一方で、樹体栄養への影響、処理翌年の樹体生育、果実品質への影響及び花芽穂木品質への影響を調査した結果、連年散布処理により種々の影響が認められたことから、実用化に当たってはそれらの影響をより明らかにする必要がある。また、本試験での食塩の投入量は短期間であれば問題にならないと考えられるレベルではあるが、長年に渡って実施した際の土壌への塩分蓄積の影響についても検証する必要があると考えられる。

文献等

- 林 眞二・田辺賢二. 1991. くだものつくりの基礎. 鳥取県農業協同組合連合会. 10-13.
- 飯久保昌一・西田光夫. 1959. 果樹の潮風害に関する研究(第一報). 東海近畿農試研報. 5: 77-88.
- 伊藤 正・小松正孝・小野剛史・小川秀和・飯島章彦. 2001. ヨウ素デンプン反応を用いたリンゴ苗木の貯蔵デンプン簡易測定法. 園芸東海支部要旨. 518.
- Kojima, K., N. Sakurai and S. Kuraishi. 1994. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. *Physiol. Plant.* 90: 772-778.
- 宮本善秋・福井博一・若井万里子・成瀬桃江・梅丸宗男・若原浩司. 2004. 樹齢の異なるモモ樹の水分及び炭水化物含量の季節的变化. 岐阜県中山間農業技術研究所研究報告. 4:27-31.
- 中川行夫・本條 均・下大迫三徳. 1980. ウンシュウミカンの潮風害の発生機構とその対策に関する研究. 果樹試報 A.7: 7-17.
- 小野剛史・伊藤 正・小川秀和・臼田 彰. 2007. わい性台木を用いたリンゴ 1 年生苗木における掘り上げ前の摘葉処理の時期が苗の耐凍性とデンプン含量ならびに定植後の生育に及ぼす影響. 園学研. 6: 361-366.
- 杉山和美・久田秀彦・岡田長久・鈴木晴夫. 1992. ウンシュウミカンの隔年結果と貯蔵養分に関する研究(第 1 報) —青島温州幼木における冬季の炭水化物および窒素化合物の形態・存在部位—. 静岡柑試研報. 24: 61-70.
- 杉山泰之・大城 晃. 2001. ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比色法によるデンプンの簡易測定法. 土肥誌. 24: 61-70.
- 杉山泰之・大城 晃・濱崎 櫻・澤野郁夫・小原 均. 2006. ウンシュウミカン「青島温州」の樹体内デンプン含量の時間的变化と冬季の根中のデンプン含量による着果量予測. 園学研. 24: 61-70.
- 竹村圭弘・須藤幸子・池田隆政・松本和浩・田村文男. 2011. ニホンナシ「ゴールド二十世紀」の芽の自発休眠は低温によって導入される. 園学研. 10(1):87-92.
- Yahata, D., K. Matumoto and K. Ushijima. 2006. The effect of the time of fruit harvest on flower formation and carbohydrate contents in shoots of Wase satuma

mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 32-37.
山本洋子・石橋寛己. 1986. 落葉果樹苗木の掘り取り時

期が植え付け後の生育に及ぼす影響について. 園学
雑. 55:174-180.

Development of Defoliation Technology Using Salt Water on Pear Tree

Tatsuya Matsumoto¹, Kiyoshi Nedu¹, Naohiko Motonaga¹, Shuji Chino² and Kiyohide Kojima²

¹Horticultural Research Center, Niigata Agricultural Research Institute

²Graduate School of Science and Technology, Niigata University

Summary

The objective of this study is development of a defoliation technology on pear tree by spraying of salt water (a NaCl solution). The effects of concentration of the NaCl solution on defoliation were investigated. The NaCl solution (0, 1, 3, 6, or 10%) was sprayed once on the tree of Japanese pear 'Shinko' and European pear 'Le Lectier' after harvesting. The defoliation period of Japanese pear 'Shinko' treated with 3% NaCl solution was the same as 6 or 10% NaCl solution, and the leaves of those treatment was lost earlier than the control (NaCl solution of 0%). However, the promotion effect on the fallen leaves by the NaCl solution was not seen on European pear 'Le Lectier'.

To clarify the influence of early defoliation by spraying of salt water on tree growth, elongation of the shoots, growth of fruits and starch content of the branches and roots were investigated. In previous year, the adult trees of Japanese pear 'Hosui' at 160, 170, or 180-181 days after full bloom (DAFB) and Japanese pear 'Shinko' at 188-190 or 196-199 DAFB were treated with 6% NaCl solution in 2009 and 2010, and the nursery plants of European pear 'Le Lectier' on Oct. 10, Oct. 28, or Nov. 6 was treated with 6% NaCl solution in 2009. The defoliations of the branches of three pear cultivars were promoted by spraying of the NaCl solution. In 2010, elongation of the shoots on Japanese pear 'Housui' and 'Shinko' had little difference. However, in 2010, elongation of the shoots of 'Hosui' and growth of fruits of 'Shinko' treated with NaCl solution were clearly reduced. Furthermore, elongation of the shoots of nursery plants of European pear 'Le Lectier' treated with NaCl solution was reduced. The Starch content was investigated by a simple assay method (a potassium iodide reaction). The starch content of shoot and root was decreased by early treatment of NaCl solution, and starch content of the nursery plant was lower than the adult plants. These results show that early defoliation was caused by spraying of the NaCl solution. In addition, these findings suggest that accumulation of starch content and the growth of nursery plants in the next year might be affected by spraying of the NaCl solution. Furthermore, the growth of adult trees also might be affected by second consecutive years treatment.

塩ストレスによる植物病原菌の抑制

篠原 信

農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所野菜病虫害・品質研究領域

概要 <背景・目的> 青枯病菌はトマトなどナス科植物に対し甚大な被害をもたらす重要病害細菌である。殺菌の難しい土壤中でこの菌が増殖するとその畑でナス科植物を栽培することは事実上断念しなければならない。この病害を回避するため、土を使わずに栽培する養液栽培(水耕栽培)に移行する農家も多い。だが、養液栽培でも土塊が培養液に誤って混入するなどして青枯病菌の侵入を許すことがあり、そうすると全滅に近い被害を受けてしまう。対策としては、次亜塩素酸などにより栽培装置をこまめに殺菌することが行われているが、近年の環境意識の高まりから、環境負荷の小さい殺菌技術の開発が求められている。

江戸時代の古書「続物紛」には、塩水や海水が青枯病に効果が高いという記述が残されている。また、最新の研究でも、青枯病菌は高濃度の塩に対し弱いということが報告されている。そこで本研究では、青枯病菌の耐塩性が低いという過去の文献に基づき、塩を使った殺菌技術の開発を進める。

<方法・結果> 培養直後の青枯病菌は、35 g/L の食塩水中に 2 日間処理することで検出限界まで殺菌することができた。青枯病菌を滅菌水に懸濁し、25℃で 1 ヶ月以上保存すると青枯病菌は耐塩化し、10 日以上 35 g/L 食塩水で処理しても青枯病菌は生残した。耐塩化した青枯病菌をより短期間に殺菌するには、さらに高濃度の食塩水が必要であった。35 g/L 食塩水に糖(グルコースまたはスクロース)を加えると耐塩化した青枯病菌を殺菌するのに要する日数が 3~4 日に短縮でき、酸(酢酸、クエン酸)、界面活性剤(ドデシル硫酸ナトリウム)、アルカリ(重曹、炭酸ナトリウム)を加えると 1 日で殺菌することができた。特に炭酸ナトリウムは 20 mg/L を 35 g/L 食塩水に加えることにより青枯病菌を 1 日で殺菌することができた。

1. 研究の背景と目的

青枯病菌 *Ralstonia solanacearum* はトマトなどナス科植物に被害の大きい重要病原菌である¹⁾。青枯病が発生すると土壤から本菌を完全に排除することは非常に困難で、土壤殺菌を実施しても再発生する可能性が高い。土壤病害を回避するため養液栽培を採用する生産者もいるが、養液栽培でも青枯病が発生することがあり、その場合は同じ水系を利用した作物が全滅に近い被害を受けることがある⁴⁾。青枯病が発生した養液栽培装置は殺菌する必要があるが、その際、十分な殺菌効果があり、なおかつ環境負荷の小さい殺菌方法が望ましい。

江戸時代の農書である続物紛(ぞくものまぎれ)には、「塩汁・潮は山枯するにかけてよし(塩水や海水は青枯病

に効果がある)」という記載があり、塩が青枯病に効果的だと伝えられている²⁾。青枯病菌は海水レベルの塩ストレスでは生残できないことも過去に報告されており³⁾、青枯病菌に汚染した養液栽培装置の殺菌に海水や塩水を利用できる可能性がある。そこで本研究では、青枯病菌の塩ストレスに対する反応を詳細に検討した。

2. 研究方法

2.1 塩濃度と青枯病菌の増殖

(1) 含塩プレート上での青枯病菌の増殖

終濃度 0、1.4、9、35 g/L の塩化ナトリウムを含む CPG 培地(カザミノ酸 1 g/L、ペプトン 10 g/L、グルコース 5 g/L、寒天 16 g/L)の平板培地を作成し、これに青枯病菌の懸濁

液(コロニー 1 白金耳分を 1 mL の滅菌水に懸濁)を 10 μ L スポットし、30°C で静置培養した。

同様に、終濃度 0~0.2 M の塩化カルシウム、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウムを含む CPG 培地のプレートを作成し、青枯病菌を静置培養してコロニー形成を観察した。

(2) 35 g/L 食塩水中での青枯病菌の生残性

青枯病菌を 35 g/L 塩化ナトリウム水溶液(海水と同等の浸透圧の食塩水)に 1.0×10^6 cfu/ml となるように添加し、経時的にサンプルを採取して青枯病菌の食塩水中での菌密度を調べた。

2. 2 青枯病菌の耐塩化

(1) 水保存処理の影響

平板培養した青枯病菌を白金耳で滅菌水に懸濁し、 1.0×10^8 cfu/ml に調整した菌液を作成し、25°C で静置した(水保存処理)。水保存処理を 1 日間あるいは 32 日間施した後、10 μ L を 35 g/L 食塩水 990 μ L に加え、食塩水中での青枯病菌の菌密度の変化を調べた。

(2) 耐塩化した青枯病菌の耐塩性

1 ヶ月以上水保存処理をすることで耐塩化した青枯病菌を 0、0.6、1、2、4 M (0、35、58.5、116.9、233.8 g/L) の塩化ナトリウム水溶液に 1.0×10^6 cfu/ml の終菌密度となるよう加え、菌密度の変化を調べた。

同様に、塩化カルシウム、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウムの 0~1 M の水溶液をそれぞれ作成し、これに青枯病菌を 1.0×10^6 cfu/ml の終菌密度で加え、水溶液中での菌密度の変化を調べた。

2. 3 添加物の効果

(1) 添加物による殺菌効果への影響

35 g/L 食塩水に 10 g/L の添加物(エタノール、グルコース、スクロース、酢酸、クエン酸、重曹、炭酸ナトリウム)を溶解し、これに耐塩化した青枯病菌を 1.0×10^6 cfu/ml の終菌密度となるよう加え、経時的にサンプル採取して菌密度の変化を調べた。

(2) 添加物の濃度と殺菌効果

酢酸、クエン酸、重曹、炭酸ナトリウム、ドデシル硫酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウムをそれぞれ 0.001~10 g/L の濃度に溶解した水溶液に耐塩化した青枯病菌を 1.0×10^6 cfu/ml の終菌密度となるよう加え、24 時間後に 0.1 ml を CPG 培地にスプレッドし、青枯病菌の目視できる

コロニーの計数を試みた。

また、35 g/L の食塩水に 0.001~10 g/L の添加物(無水酢酸、クエン酸、重曹、炭酸ナトリウム、ドデシル硫酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウム)を加え、耐塩化した青枯病菌を 1.0×10^6 cfu/ml の終菌密度となるよう加え、24 時間後に 0.1 ml を CPG 培地にスプレッドし、形成される目視可能な青枯病菌のコロニー検出を試みた。

2. 4 青枯病菌の培養と菌密度

青枯病菌は *Ralstonia solanacearum* MAFF301487 株を使用した。青枯病菌の培養には CPG 培地を用い、30°C でプレートを静置培養した。菌密度は CPG 培地による希釈平板法により検定した。

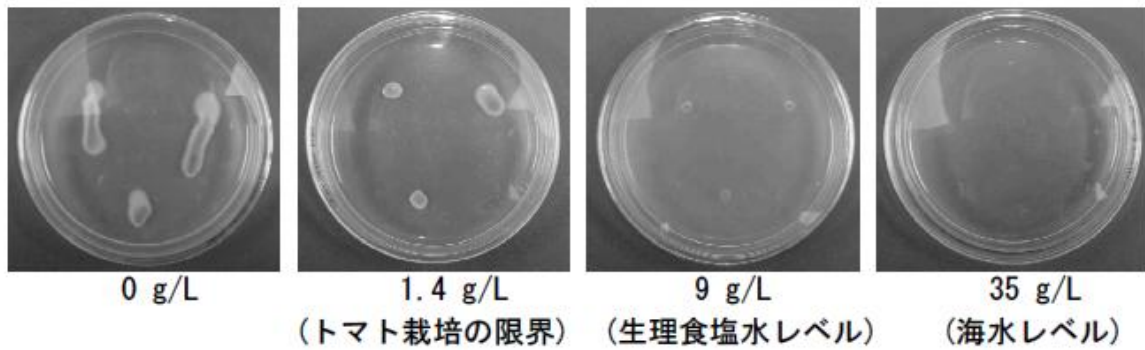
3. 研究結果

3. 1 塩濃度と青枯病菌の増殖

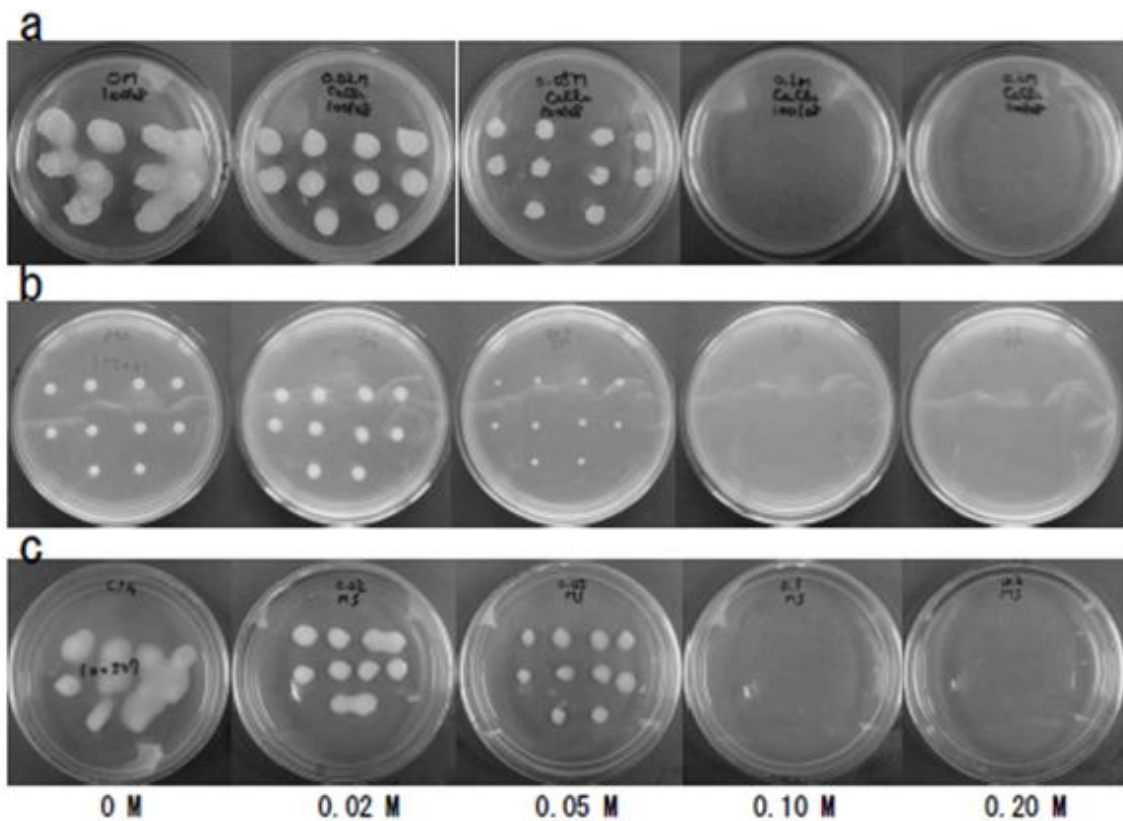
(1) 含塩プレート上での青枯病菌の増殖

青枯病菌は CPG 培地上で大きなコロニーを形成したが、CPG 培地に含まれる塩化ナトリウムの濃度が 1.4 g/L、9 g/L と高まるにつれ、コロニーが縮小し、35 g/L (約 0.6 M) では青枯病菌のコロニー形成は認められなかった(第 1 図)。

にがり成分である塩化カルシウム、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウムを含有する CPG プレート上では、0.05 M までの濃度であればコロニー形成が認められたが、0.1 M 以上のプレートではコロニー形成が認められなかった(第 2 図 a, b, c)。



第1図 食塩含有CPG培地上での青枯病菌の増殖。0、1.4、9、35 g/Lの食塩をCPG培地に加え、各プレート上での青枯病菌のコロニー形成を観察した。1.4 g/L食塩水は養液栽培でトマトを栽培する限界の塩濃度。9 g/Lは生理食塩水の塩濃度。35 g/Lは海水と同等の浸透圧の塩濃度。



第2図 にがり成分含有CPG培地上での青枯病菌の増殖。0～0.2 Mのにがり成分(塩化カルシウム、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウム)をCPG培地に加え、それぞれのプレート上での青枯病菌のコロニー形成を観察した。a: 塩化カルシウム、b: 塩化マグネシウム、c: 硫酸マグネシウム

(2) 35 g/L 食塩水中での青枯病菌の生残性

35 g/L 食塩水の中では青枯病菌の生菌の菌密度は急激に減少し、2日後には青枯病菌のコロニー形成は目視では確認できなくなった(第3図)。滅菌水中では青枯病菌は $1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7$ cfu/mlの菌密度で推移した。

3.2 青枯病菌の耐塩性

(1) 水保存処理の影響

青枯病菌を1日水保存処理すると、35 g/L 食塩水中に2日間処理しても約 3.0×10^2 cfu/ml生残した(第4図)。32日間水保存処理すると、35 g/L 食塩水中に2日間処理しても菌密度の大幅な減少は認められず、10日間食塩水中に処理しても 1.0×10^1 cfu/ml以上生残した。

(2) 耐塩化した青枯病菌の耐塩性

耐塩化した青枯病菌は、1 M 以下の食塩水 2 日間処理では青枯病菌が大量に生残した。2 M 以上の食塩水に 2 日間処理することで青枯病菌のコロニー形成は確認されなくなった(第 5 図)。

塩化カルシウム、塩化マグネシウムの場合、0.5 M 以上の水溶液で処理すると青枯病菌のコロニーは 2 日で形成されなくなり、1 M では 1 日で形成されなくなった(第 6 図 a, b)。0.1 M 以下では菌密度の減少は小さかった。硫酸マグネシウムは青枯病菌の菌密度を減少させる効果は小さかった(第 6 図 c)。

3.3 添加物の効果

(1) 添加物による殺菌効果への影響

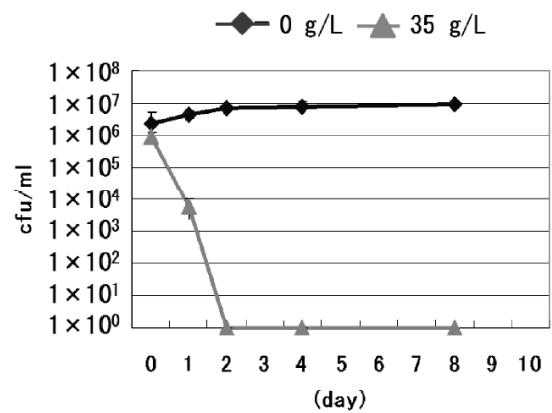
35 g/L 食塩水に 10 g/L グルコースあるいは 10 g/L スクロースを加えた水溶液で処理すると、4 日以内に青枯病菌は検出されなくなった。10 g/L の酢酸、クエン酸、重曹、炭酸ナトリウムをそれぞれ 35 g/L 食塩水に溶解した水溶液で処理した場合は、24 時間処理で青枯病菌は検出されなくなった。10 g/L エタノールの添加は殺菌効果の向上が認められなかった。

(2) 添加物の濃度と殺菌効果

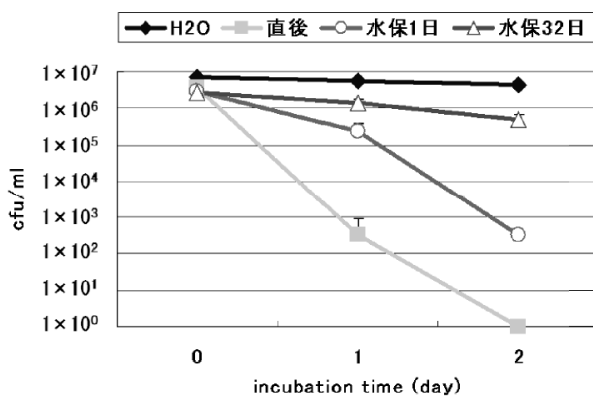
クエン酸、酢酸を 35 g/L 食塩水に 0.2 g/L 以上加えることで青枯病菌を 24 時間以内に検出限界以下にまで殺菌することができた(第 7 図)。ドデシル硫酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウムは 35 g/L 食塩水に 0.05 g/L 以上加える

と青枯病菌を 24 時間で検出限界以下にまで殺菌することができた。炭酸ナトリウムは 0.02 g/L 以上加えると青枯病菌を 24 時間で検出限界以下にまで殺菌することができた。重曹単独では青枯病菌の殺菌効果は特に認められなかったが、35 g/L 食塩水に 5 g/L 以上加えることで青枯病菌を 24 時間で検出限界以下にまで殺菌することができた。

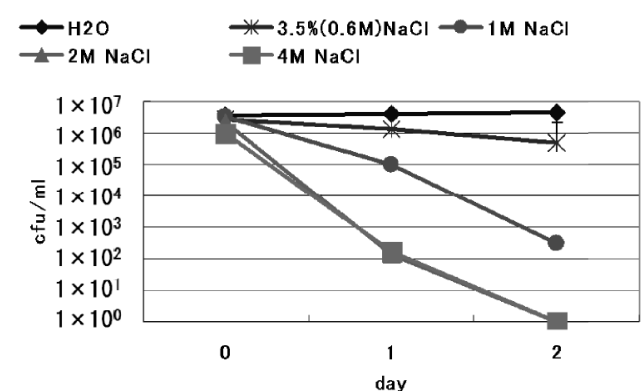
単独での殺菌力では次亜塩素酸カルシウム>炭酸ナトリウム>ドデシル硫酸ナトリウム>クエン酸=酢酸、35 g/L 食塩水に添加して併用する場合は炭酸ナトリウム=次亜塩素酸カルシウム>ドデシル硫酸ナトリウム>クエン酸=酢酸>重曹の順であった。



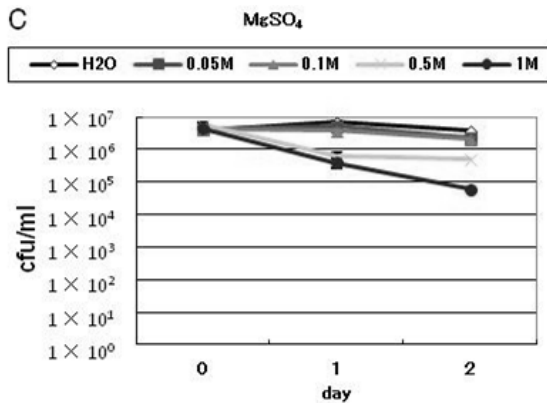
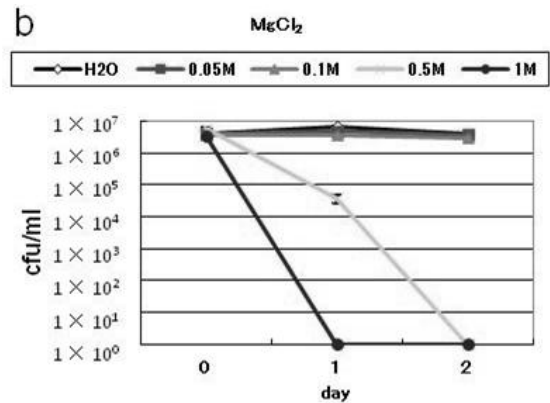
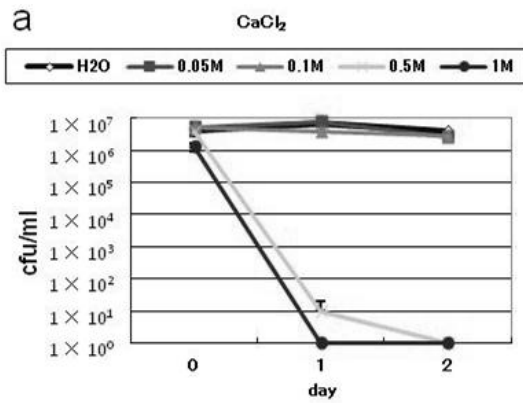
第 3 図 35 g/L 食塩水中での青枯病菌の生残性。培養直後の青枯病菌を 35 g/L 食塩あるいは滅菌水に 1.0×10^6 cfu/ml の菌密度で加え、経時的に菌密度の変化を調べた。誤差線は 3 反復の標準誤差。



第 4 図 水保存処理後の 35 g/L 食塩水中での青枯病菌の生残性。水保存処理を 1 日(水保 1 日)あるいは 32 日(水保 32 日)施した青枯病菌を 35 g/L 食塩水で 2 日処理し、菌密度の変化を調べた。誤差線は 3 反復の標準誤差。



第 5 図 耐塩化青枯病菌の食塩水中での生残性。1 ヶ月以上水保存処理し耐塩化した青枯病菌を 0.6、1、2、4 M の食塩水に処理し、経時的に菌密度を調べた。誤差線は 3 反復の標準誤差。



第6図 耐塩化青枯病菌のにがり水溶液中での生残性。1ヶ月以上水保存処理し耐塩化した青枯病菌を0~1Mの塩化カルシウム(a)、塩化マグネシウム(b)、硫酸マグネシウム(c)水溶液に処理し、経時的に菌密度を調べた。誤差線は3反復の標準誤差。

単独

	g/L	0.001	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
NaHCO ₃		L		L					L	L			L
クエン酸一水和物				L	L	L	L		L	L	L	L	D
酢酸				L	L	L	L	L	L	L	L	L	D
SDS				L	L	L	L	L	L	D			D
Ca(ClO) ₂				L		D	D		D	D			
Na ₂ CO ₃				L		L	L	D					

+ 3.5% NaCl

	g/L	0.001	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
NaHCO ₃									S	S		D	D
クエン酸一水和物				L	L	L	S	D	D	D	D	D	D
酢酸				L	L	L	S	D	D	D	D	D	D
SDS		L	L	L	L	D	D	D	D	D	D	D	D
Ca(ClO) ₂				S		D	D		D	D			
Na ₂ CO ₃		L	L	S	D	D	D	D					D

L 大量生残
 S <100cfu/mL
 D <10cfu/mL (検出限界以下)

第7図 添加物入り食塩水による耐塩化青枯病菌の殺菌。各種濃度の重曹(NaHCO₃)、クエン酸一水和物、酢酸、ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)、次亜塩素酸カルシウム(Ca(ClO)₂)、炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)水溶液に耐塩化した青枯病菌を加え、24時間後の青枯病菌の生残性を調べた(単独)。また、35g/L食塩水に各種濃度の上記添加物を加え、同様に生残性を調べた(+3.5% NaCl)。生残性の検定は3反復。

4. 考 察

培養直後の青枯病菌は耐塩性が低く、海水と同レベルの浸透圧である 35 g/L 食塩水中で容易に検出限界以下にまで殺菌されるが(第 3 図)、水保存処理を事前に施すと耐塩化し、短期間の 35 g/L 食塩水処理だけでは殺菌することはできなくなった(第 4 図)。これは、滅菌水のような貧栄養の環境におかれることで青枯病菌の生命活動が低下し、浸透圧などのストレスの影響を受けにくくなったためと考えられる⁵⁾。このことは、糖を食塩水に加えると、死滅までの日数が 3~4 日間に短縮されたことから示唆される。糖の添加により耐塩性が低下したのは、糖の添加による浸透圧の上昇の他に、青枯病菌の代謝が再活性化され、浸透圧の影響を受けやすくなった可能性があるかと推察される。青枯病菌は地下水や滅菌水中で数年にわたり生残することが知られているが、貧栄養環境下で耐ストレスの能力を高める可能性がこれらの結果から示唆される。

耐塩化した青枯病菌は高濃度の食塩や塩化カルシウム、塩化マグネシウムの水溶液で処理することで殺菌することが可能である(第 5, 6 図)。しかし硫酸マグネシウムは 1 M の高濃度でも殺菌することができなかった。このことから、耐塩化した青枯病菌の殺菌には塩化物イオンが一定量以上存在することが有効である可能性がある。

食塩水に酸やアルカリ、界面活性剤を添加することは、青枯病菌への殺菌効果を高める上で有効な手法であるとされる。クエン酸、酢酸単独で青枯病菌を殺菌するには 10 g/L の高濃度処理が必要だが、35 g/L の食塩水と組み合わせれば 0.2 g/L を添加するだけで十分な殺菌効果が認められる(第 7 図)。ドデシル硫酸ナトリウムも、単独では 1 g/L 以上必要だったのが、食塩水に添加する場合は 0.05 g/L の少量添加により青枯病菌を殺菌することができた。最も効果が高かったのは炭酸ナトリウムで、単独使用では 0.2 g/L 必要だが、食塩水との併用では 0.02 g/L を加えるだけで青枯病菌を殺菌することができた。これらの結

果は、酸やアルカリ、界面活性剤などで細胞膜が傷つくと、浸透圧のストレスに弱くなることを示唆する。

食塩を青枯病菌の殺菌に利用することは、土耕栽培では塩類集積の危険があるので困難である。養液栽培の場合は装置の洗浄に利用可能であり、青枯病菌が発生した場合は少量の食塩水を装置に噴霧することにより殺菌するなどの応用例が想定される。

植物病原菌は、宿主である植物体が低塩濃度であるため、青枯病菌以外にも高塩濃度の条件で殺菌される病原菌が存在することは容易に推察される。食塩あるいは海水を利用する場面は限定的だが、環境負荷の小さい殺菌法として、養液栽培装置の殺菌などに応用することは可能と思われる。

5. 今後の課題

炭酸ナトリウムを含む食塩水について、殺菌効果を維持しながら食塩の濃度をどこまで低減できるかを検討し、コストダウンを図る必要がある。

文 献

- 1) Hayward, A.C. (1994) The hosts of *Pseudomonas solanacearum*. In *Bacterial Wilt: The Disease and its Causative Agent, Pseudomonas solanacearum* ed. Hayward, A.C. and Hartman, G.L. pp. 9-24. Wallington, UK: CAB International.
- 2) 佐藤常雄・徳永光俊・江藤彰彦(1999)日本農書全集 第 41 巻:90.
- 3) van Elsas, J.D., Kastelein, P., de Vries, P.M., van Overbeek, L.S. (2001) *Can J Microbiol.* **47**:842-854.
- 4) 矢野和孝・高橋尚之・川田洋一・竹内繁治(2009)高知農技セ研報(*Bull. Kochi Agric. Res. Cent.*) **18**:1-7.
- 5) 篠原信・藤原和樹・青山ちひろ(2012)関西病虫研報 **54**: 1-6.

Control of Plant Pathogen by Salt Stress

Makoto Shinohara

National Institute of Vegetable and Tea Science,
National Agriculture and Food Research Organization

Summary

Ralstonia solanacearum is a pathogenic bacteria causing significant damage to solanaceous plants such as tomato. It is difficult to cultivate solanaceous plants in the farm field contaminated with this bacterium. Hydroponics, also known as soilless culture, is an option to avoid the pest. But the invasion of *R. solanacearum* to hydroponic solution occurs infrequently and might take a devastating damage on the yield of crops. Sterilization of hydroponic devices by hypochlorous acid is often conducted in order to solve this problem. However, with more people concerned about the environment, there is a growing need for reduction of the effects on the environment.

In “Zoku monomagire”, an antiquarian book in Edo period, the effect of salt water or sea water on *R. solanacearum* is described. Furthermore, recent studies reported that *R. solanacearum* should suffer from high concentration of salt. In this study, we develop the disinfect technique by using salt based on the knowledge about low salt resistance of *R. solanacearum*.

Ralstonia solanacearum, causing bacterial wilt disease, just after culturing in medium could not be detected in 35 g/L saline solution from 2 days after addition. After keeping *R. solanacearum* in sterile water for more than 1 month at 25°C, the pathogen survived in 35 g/L saline solution for more than 10 days. For killing the salt-tolerant pathogen, it is necessary to bring it into higher concentrate saline solution. The addition of sugar (glucose or sucrose) into 35 g/L saline solution killed the salt-tolerant pathogen within 4 days. Furthermore, the addition of acids (citric acid or acetic acid), alkali (sodium bicarbonate or sodium carbonate) or surfactant (sodium dodecyl sulfate) into 35 g/L saline solution resulted in killing the salt-tolerant pathogen within 1 day. Especially, addition of 20 mg/L sodium carbonate into saline solution was sufficient to kill the salt-tolerant pathogen within 1 day.

プロジェクト助成研究報告書 (農学・生物学)
Project Research Report (Agriculture and Biology)

平成25年3月
March, 2013

公益財団法人ソルト・サイエンス研究財団
The Salt Science Research Foundation

〒106-0032 東京都港区六本木7-15-14 塩業ビル
Engyo Bldg. 7-15-14 Roppongi, Minatoku, Tokyo 106-0032, Japan

Tel. 03-3497-5711 Fax. 03-3497-5712
URL <http://www.saltscience.or.jp>

I S B N 9 7 8 - 4 - 9 0 2 1 9 2 - 3 4 - 6

助成研究報告書

農学・生物学プロジェクト研究（2009 - 2011）

作物栽培に及ぼす海水の影響

公益財団法人ソルト・サイエンス研究財団