

# 低分子有機態炭素施用によるキャベツ苗の乾燥ストレス耐性向 2.

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	宮沢,佳恵
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	82巻4号
掲載ページ	p. 302-304
発行年月	2011年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 低分子有機態炭素施用によるキャベツ苗の乾燥 ストレス耐性向上Ⅱ. クエン酸施用効果の検証

宮沢佳恵

キーワード 耐乾性, 酸化ストレス, 塩締め馴化法, 初期生育, セル成型苗

### 1. はじめに

キャベツ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) の定植作業において、乾燥ストレスによる植え痛みを最小限に抑えることがその後の速やかな活着の鍵となる (岩間, 2004). 特に真夏の乾燥・晴天条件では苗が容易に乾燥ストレスにさらされるため、乾燥ストレス対策の必要性が高まる (荒木, 2001). 前報では、キャベツの育苗期間中にクエン酸を処理することにより、定植時の乾燥ストレスを軽減し、定植後の初期生育が増加する可能性を示した。

苗の定植時の乾燥ストレス対策としてこれまで提案されてきた方法として、塩化ナトリウムを添加した液肥等を与える“塩締め馴化法” (藤原ら, 2002a, 2002b) がある. この方法は、広く行われている“水きり処理” (Frantz *et al.*, 1998) の欠点を補い、塩ストレスにより苗の蒸散速度を抑えて水分利用効率を上昇させる方法である. この塩締め馴化法と比較することにより、クエン酸施用による乾燥ストレスの軽減がどの程度効果的であるかの目安が得られる。

また、前報では育苗期間を通じて灌水の度にクエン酸施用を行った. これは、当初の目的がクエン酸の施用ではなく、糖を継続的に施用し苗に吸収・蓄積させることであったためである. しかし、乾燥ストレスの軽減効果を得るためには、クエン酸を必ずしも育苗期間を通じて施用する必要があるとは限らない。

前報ではさらに、クエン酸による乾燥ストレス軽減効果の考えられるメカニズムをいくつか挙げた. これらの考えられるメカニズムのうち何が主に乾燥ストレス軽減に寄与しているのか、あるいは、これら以外に何らかのメカニ

ズムが働いているかわかっていない。

以上のことを背景に本報告では、クエン酸施用による乾燥ストレスの軽減効果について、1) 塩締め馴化法と比較、2) 定植直前みの施用効果の検証を行い、さらに3) 考えられるメカニズムのうち、苗の養分吸収への影響、および土壌水分の保持と苗の水分吸収への影響について検証することを目的とした。

### 2. 試料および方法

#### 1) 塩締め馴化法および定植直前施用との比較

2010年7月13日に前報と同様にキャベツ (品種: YR青春2号) の播種を行った. 処理は発芽のそろった播種後5日目から開始し、1) 水 (コントロール), 2) クエン酸 2.5 mM 処理, 3) クエン酸 5 mM 処理を設け、1トレイあたりそれぞれの処理液 4 L をジョウロで施用した. 育苗士の乾き具合により 1~3 日毎にこれらの処理を繰り返し、これらの処理の他に灌水は行わなかった. さらに、4) 定植5日前から塩化ナトリウム 0.8% 処理 (計5回), 5) 定植直前塩化ナトリウム 2.4% 処理 (1回), 6) 定植直前クエン酸 5 mM 処理 (1回) を設け、これらも各処理 1トレイあたり 4 L をジョウロで施用した. 処理 4~6 に関しては、処理開始前までの灌水は、コントロールと同様とした。

播種後 21 日目 (8月5日) 午前 10 時に、前報と同様に地上部サンプリングおよびポットへの定植を行った. 定植後コントロールの苗が完全に萎れた時点 (25.5 時間後) で全ての苗に十分灌水を行い、8月17日 (定植後 12 日目) に収穫し地上部乾物重を測定した. 実験期間中の気温および日射量を図 1 に示す。

#### 2) 苗の養分吸収への影響

キャベツを上記同様に播種し、人工気象チャンバー (NKシステム, 日本医化器械製作所) にて昼 20 °C / 夜 15 °C, 日長 12 時間, 湿度 80%, 光強度 380  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  で育苗した. 播種後 20 日目に、1) コントロール (水), 2) クエン酸 5 mM の処理を行い、上記と同様のポットに定植した. ポットは施肥処理として 1) 無施肥, 2) 施肥 (野菜専用 NN444; N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O それぞれポットあたり 0.37 g) の 2 処理を設けた. 定植後ただちに灌水し、その後は適時灌水を行い、定植後 13 日目に地上部乾物重および窒素、

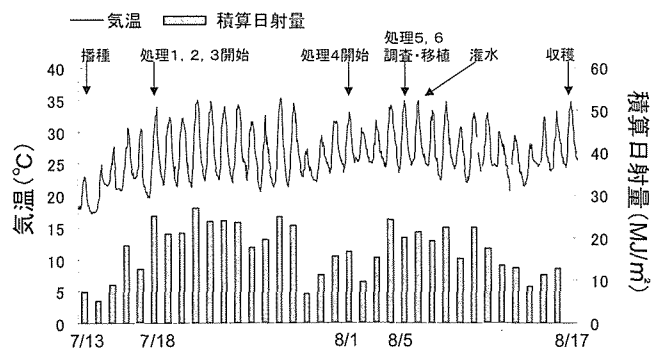


図 1 実験期間中の気温および積算日射量  
計測は東北農業研究センター福島拠点の気象観測システム (クリマテック) による。

Kae MIYAZAWA: Low organic matter application increases draught tolerance of cabbage seedlings II. Effect of citric acid application

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター (960-2156 福島県福島市荒井字原宿南 50)

Corresponding Author: 宮沢佳恵

2011年2月14日受付・2011年5月18日受理

日本土壌肥科学雑誌 第 82 巻 第 4 号 p.302~304 (2011)

リン、カリウム含有量を測定した。窒素は燃焼法で、リンとカリウムは硝酸・過塩素酸で湿式灰化後、ICP発光分析装置で測定を行った。

### 3) 土壌水分の保持および苗の水分吸収への影響

上記と同様に人工気象チャンバーで育苗した苗を用い、1) コントロール(水)、2) クエン酸5mM処理、3) 塩化ナトリウム0.8%処理を設けた。処理1,2では播種後18日目に1回、処理3では播種後14日目から毎日(計5回)、それぞれの処理液をジョウロでトレイあたり4L施用した。処理後は断水し、毎日午前9時に各4個体ずつ地上部および育苗土(根を含む)をサンプリングし、新鮮重と乾物重(105°Cで24時間乾燥)を測定し、水分含有量を算出した。

### 3. 結果および考察

定植直前の苗の乾物重は、塩化ナトリウム2.4%処理で有意に他の処理に比べて増加した(図2)。この有意な増加の理由は不明であるが、塩化ナトリウム2.4%処理では処理後著しい萎れが認められ、定植後すべて枯死したことから、塩化ナトリウムを大量に吸収したことによる乾物重の増加分が含まれると考えられる。藤原ら(2002b)によれば、定植5日前に塩化ナトリウム2.4%処理を1回行うと、断水後の生存率が大きく向上した。本試験では、クエン酸の定植直前施用と比較して直前に施用した場合の効果をみるため、塩化ナトリウム2.4%処理も定植直前に施用した。そのため、乾燥ストレスと塩ストレスが重なり、苗が馴化する前にストレスが与えられたことにより枯死したと考えられる。

処理苗をポットに移植し、乾燥ストレスを与えた後灌水を行い栽培したところ、すべての処理(塩化ナトリウム2.4%処理を除く)においてコントロールに比べて有意に乾物重が増加した(図3)。クエン酸処理と塩化ナトリウム0.8%処理との間に差は認められなかったことから、クエン酸処理により、塩締め馴化法と同程度の乾燥ストレスの軽減効果が得られる可能性が示された。

クエン酸処理に関しては、育苗期間中継続して施用して

も、直前の処理のみでも同程度の効果が得られた。したがって、クエン酸施用による効果のメカニズムは、これまで提案された水きり処理や塩締め馴化法によるものとは大きく異なると考えられる。水きり処理では事前に乾燥ストレスを、塩締め馴化法では定植5日前から0.8%の塩化ナトリウム溶液を与えて塩ストレスを負荷し、馴化により耐乾性を高めるものである。一方、本研究で行ったクエン酸処理は、定植直前に行っても効果が認められることから、苗の乾燥や塩ストレスに対する馴化を伴うものではないと考えられる。

クエン酸による土壌の養分溶出効果に関しては、リンや鉄の溶出効果が示されている(Jones *et al.*, 2003)。本試験でも、クエン酸を施用することにより、施肥の有無に関わらず、苗のリン含有量が増加することが示された(図4b, 表1)。このクエン酸施用によるリン含有量の増加の効果は、乾燥ストレスを与えなかった本試験条件では乾物重に反映されなかったが(図4a, 表1)、乾燥ストレス後の条件ではストレス軽減に貢献する可能性も考えられる。一方、窒素とカリウムは、クエン酸施用により無施肥条件では逆に含有量が低下した(図4cd, 表1)。イオン強度の極めて低い溶液や、カルシウム濃度の低い溶液中で根が酸性条件にさらされると、特に伸長中の根がダメージを受けることが示されている(Koyama *et al.*, 2001)。クエン酸施用時には、セル成型苗の根鉢を形成している根に直接クエン酸溶液が接触するため、根がダメージを受けて窒素やカリウムの吸収量が低下した可能性がある。しかし、地上部生育に影響は出ないこと、施肥を行った処理では吸収量の低下は見られないことから、根にダメージがあったとしても軽度なものであり、通常の施肥条件では考慮する必要のない程度と考えられる。

土壌水分の保持効果に関しては、塩化ナトリウム処理で処理後2日目から有意に効果が認められた(図5a)。これは、塩化ナトリウム処理した苗の蒸散速度が大きく低下するためであると考えられている(藤原ら, 2002a)。その他の処理では効果は認められなかったことから、クエン酸

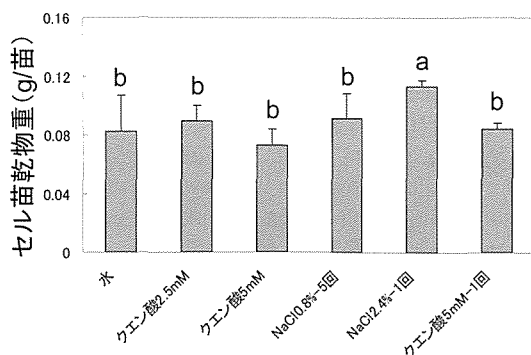


図2 異なる処理の元で21日間育苗したキャベツの乾物重は標準偏差。異なるアルファベットはTukey多重比較(調整済みp値による)により有意に差が認められたことを示す。

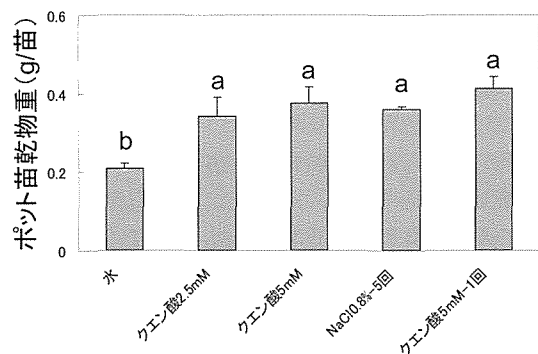


図3 異なる処理の元で育苗してからポットに定植し、定植時乾燥ストレスを与えて12日間栽培したキャベツ苗の乾物重は標準偏差。異なるアルファベットはTukey多重比較(調整済みp値による)により有意に差が認められたことを示す。

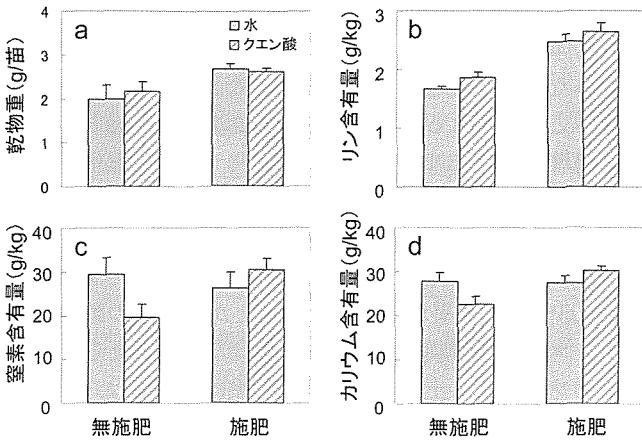


図4 水(コントロール)およびクエン酸5 mMを施用した苗をそれぞれ無施肥、施肥したポットに定植し、13日間栽培したキャベツ苗の乾物重(a)、リン(b)、窒素(c)、およびカリウム含有量(d)。  
バーは標準偏差。

表1 2元配置分散分析によるクエン酸処理と施肥の影響の有意性(p値)。

要因	乾物重	リン含有量	窒素含有量	カリウム含有量
クエン酸処理(C)	n.s.	0.0125	n.s.	n.s.
施肥(F)	<0.0001	<0.0001	0.0355	0.0018
C × F	n.s.	n.s.	0.001	0.0009

n.s.: 有意差なし。

施用による効果は土壌水分の保持によるものではないと考えられる。地上部の植物体の水分含有量も、塩化ナトリウム処理で4日目に有意にコントロールに比べて高くなった他、クエン酸処理でも程度は小さいものの有意に高くなった(図5b)。クエン酸処理で土壌水分には効果が見られず、植物体には多少効果が認められたメカニズムについては今後検討する必要がある。

以上により、クエン酸施用により、塩締め馴化法と同等の乾燥ストレス軽減効果が得られる可能性があること、およびそのメカニズムは従来のストレスを事前に与える方法によるものとは大きく異なることが示された。本試験では、クエン酸施用により苗のリン含有量がやや増加することが示されたが、他にもクエン酸そのものの吸収や、無機化したクエン酸の炭素源としての効果、あるいはクエン酸や酸性条件に対する植物側の応答など、影響を与える可能性のある要因が考えられる。特に、定植直前にクエン酸を施用しても効果が認められたことから、根が急激なpHの変化を受けて遺伝子発現が変化し(Lager *et al.*, 2010)、乾燥・強光条件での酸化ストレスの耐性を得た可能性も大きい。Lager *et al.* (2010)では、短時間の根への酸性処理下での転写プロファイルが、酸化ストレス処理によるものと類

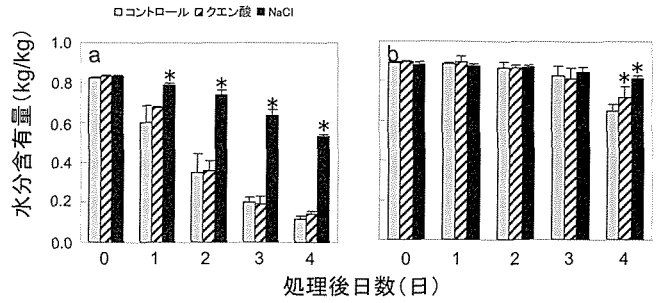


図5 水(コントロール)、クエン酸、およびNaCl処理したセル成型苗の処理後の育苗土(a)と地上部(b)の水分含有量の変化。  
バーは標準偏差。  
\*はDunnettの多重比較法によりコントロールとの差が有意に認められたことを示す。

似していることを示すデータを報告している。これらの未検証のメカニズムのうち、何が大きく貢献しているのかを今後明らかにすることにより、効果的な定植時乾燥ストレス緩和技術の開発につなげたいと考えている。

謝辞：本試験にご協力いただいた実験アシスタントの 大友孝子氏に心より感謝をいたします。

文 献

荒木俊光 2001. キャベツ初夏まき年内どり栽培. 川城英夫編 新野菜づくりの実際 葉菜—誰でもできる露地・トンネル・無加温ハウス栽培—, p.32–39. 農文教, 東京.

Frantz, J. M., Welbaum, G. E., Shen, Z. X., and Morse, R. 1998. Comparison of cabbage seedling growth in four transplant production systems. *Hortscience*, 33, 976–979.

藤原隆広・中山真義・菊地直・吉岡宏・佐藤文生 2002a. NaCl施用によるキャベツセル成型苗の徒長抑制・順化効果. 園学雑, 71, 796–804.

藤原隆広・吉岡宏・熊倉裕史・佐藤文生・井上昭司 2002b. NaClの施用条件がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響. 園学研, 1, 169–173.

岩間誠造 2004. 生育のステージと生理. 農文教編 生態 野菜園芸大百科 第2版 16 キャベツ, ハナヤサイ, ブロッコリー, p.21–60. 農文教, 東京.

Jones, D. L., Dennis, P. G., Owen, A. G., and van Hees P. A. W. 2003. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. *Plant Soil*, 248, 31–41.

Lager, I., Andréasson, O., Dunbar, T. L., Andreasson, E., Escobar, M. A., and Rasmusson, A. G. 2010. Changes in external pH rapidly alter plant gene expression and modulate auxin and elicitor responses. *Plant Cell Environ.*, 33, 1513–1528.

Koyama, H., Toda, T., Hara, T. 2001. Brief exposure to low-pH stress causes irreversible damage to the growing root in *Arabidopsis thaliana*: pectin-Ca interaction may play an important role in proton rhizotoxicity. *J. Exp. Bot.*, 52, 361–368.