

溶存酸素の多少がセルリーの生育・収量および品質に及ぼす影響

向井時生・小林樹生・齋藤菜月・佐藤実菜・関 千奈美・牧野早希・春日重光

信州大学 農学部 植物資源科学コース 栽培学研究室

要 約

循環型水耕栽培によるセルリー栽培において、溶存酸素の多少がセルリーの生育・収量および品質に及ぼす影響を調査するため、セルリー苗「トップセラー」をハウス内に設置した循環型水耕栽培施設に定植し、溶存酸素供給区および対照区に分けて栽培を行った。その結果、溶存酸素施用区では対照区と比較して茎数、茎重、葉重の値が高く、セルリーの水耕栽培において溶存酸素の施用が収量の増加に有効であることが推察された。ただし、肥料成分は収穫の約1ヶ月前に補給を停止したが、セルリーの硝酸態窒素濃度は対照区では1972 ppmと市販品の2800 ppmを下回る値であったのに対し、溶存酸素施用区では3181 ppmと市販品をわずかに上回った。また、ECについて溶存酸素施用区と対照区を比較すると溶存酸素施用区でのECの減少が早かった。今後、出荷時にセルリーの硝酸態窒素濃度を低く抑えられるような液肥濃度の調整について更に検討が必要であると考えられた。

キーワード：循環型水耕栽培、硝酸態窒素濃度、セルリー、春播き夏秋どり栽培、溶存酸素

緒 言

長野県は全国一位のセルリー生産量を誇り、その出荷量は14700 tにおよぶ長野県の主要農産物である（農林水産統計 2017）¹⁾。長野県の冷涼な気候がセルリー栽培に適しており、県内では、原村や茅野市、諏訪市、松本市などが主な生産地となっている。セルリー栽培の特徴として、野菜の中でも特に多肥栽培が行われるとともに灌水回数が多いことが挙げられる（長野県野菜栽培指標）²⁾。

セルリーの水耕栽培については、木下ら（2010）によって傾斜地溶液栽培システムを利用したトマト栽培の裏作としての冬春セルリー栽培の研究が行われている³⁾ほか、滋賀県野州市のイーファーム健彩菜園でも水耕セルリーの小株どり栽培が行われている⁴⁾が、灌液式の水耕栽培に関する研究は極めて少なく、水耕栽培を行っている農家は少ないのが現状である。セルリーの土耕栽培では肥料の多投により、植物に利用されなかった硝酸態窒素が地下水を通じて河川へ流亡していると考えられる。福島（2002）は、諏訪湖への流入河川である宮川では流域に農耕地が多く、全水質項目で農業排水の影響がみとれると指摘している⁵⁾。諏訪湖への流入河川である宮川・上川の流域は、茅野市、原村、富士見町といったセルリーの産地が広がっており、栄養塩を含んだ農業排水が湖へ流入し、諏訪湖の富栄養化の一因と

なっていると考えられる。

セルリーの水耕栽培は、水耕ベッド内の限られた環境内で肥料が循環するため、施肥量および灌水量の低減と環境負荷の軽減が可能となる。ただし、セルリーは作物体そのものが商品であり、生育のばらつきが出荷価格や商品性の低下を引き起こすことから、水耕栽培におけるセルリーの均質な生産が課題となる。また、窒素肥料の多投入から窒素過多になり植物体に含まれる硝酸態窒素濃度の上昇が問題となっている（久保 2012）⁶⁾。肥料として農地に投入された窒素はアンモニア態窒素から硝酸態窒素になり植物に吸収される。このことについて、日本では野菜に含まれる硝酸態窒素濃度の基準は設けられていないが、硝酸塩の過剰摂取が発ガン等人体に悪影響を及ぼすことが懸念されており、硝酸塩の摂取量をできるだけ低く抑えることが望ましいとされている（山下 2004）⁷⁾。セルリーの水耕栽培を行う上でも、植物体に含まれる硝酸態窒素濃度は考慮すべき問題となる。

そこで、本研究では溶存酸素施用の有無がセルリーの生育に与える影響と、培養液から肥料分を絶った後の硝酸態窒素濃度の推移を調査した。

材料および方法

セルリー苗は市販の「トップセラー」を使用した。栽培は信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター（以下、AFC）ハウス内に設置した循環型水耕栽培施設で行った。水耕栽培ベッ

受付日 2019年1月7日

受理日 2019年2月6日

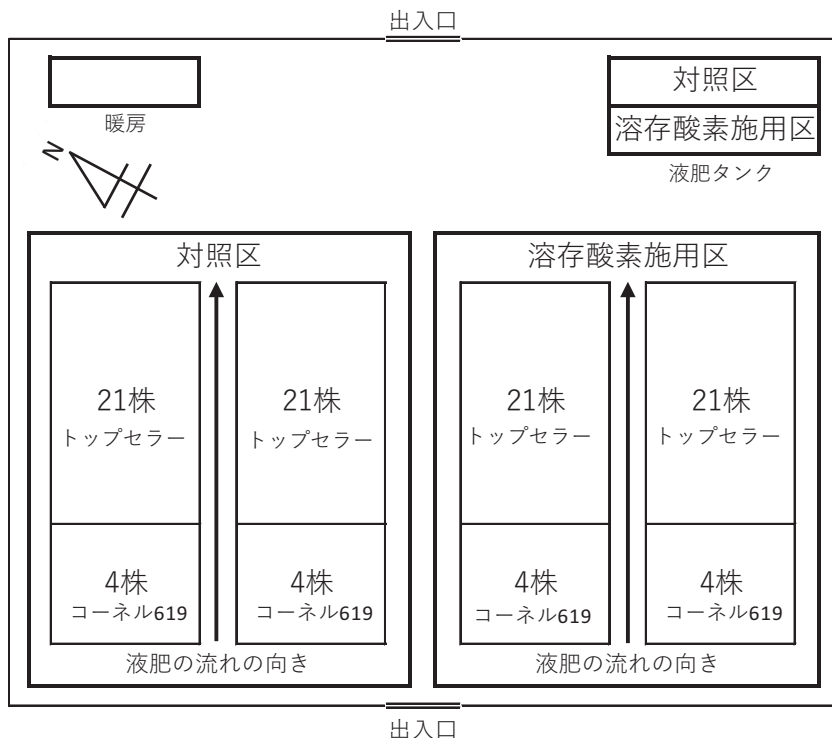


図1 ハウス内の試験区設定

ドはハウス内に4列配置し、2017年8月7日に各ベッドに株間40 cmで25株を定植した。同年8月10日の時点で枯死した個体が出たため、各ベッドにつき4株を市販の‘コーネル619’で補植した。水耕ハウス内の試験区の配置は図1の通りで、トップセラーは各ベッドにつき21株、コーネル619は区ごとに4株で行った。ハウス内には液肥を貯めるタンクが2つ設置されており、ポンプによって1つのタンクから2列の栽培ベッドに液肥が循環する仕組みとなっている。片方のタンクに溶存酸素供給用の器機を導入して溶存酸素施用区とし、対照区と比較試験を行った。

定植時のベッドへの苗の固定には、中央に直径3 cmの穴を開けた12.4×22.4×2.8 cm発泡スチロールを用いた(写真1、2)。液肥として溶液裁

培用の化学肥料であるOATハウス1号および2号(OATアグリオ株式会社)を配合したものを用い、溶解した液肥をポンプにより常時循環させた⁸⁾。液肥は、標準配合液として200 Lの水にOATハウス1号を150 gおよびOATハウス2号を100 g溶解したものをを用いた。使用した農薬とその散布日、および希釈倍率と散布量を表1に示す。溶存酸素供給には有限会社コスモテックの加圧式ナノバブル発生装置(CN-28B)を用い、水中の溶存酸素量が30 ppm前後となるように設定した。

2017年11月14日に収穫し、収穫時にトップセラーは各列4株、コーネル619は各列1株について、株ごとの地上部重、地下部重、草丈、莖数、莖重、葉重、および硝酸態窒素濃度を調査した。なお、主茎以外の分けつも同様の調査を行い、それぞれの調査

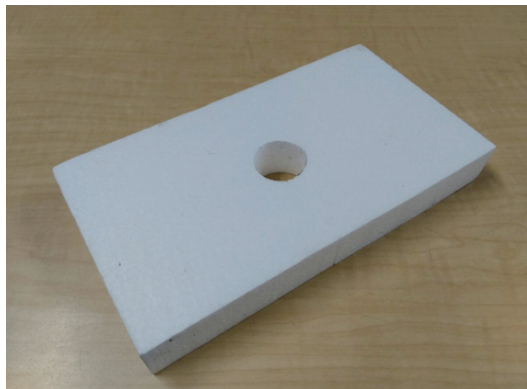


写真1 定植に用いた発泡スチロール



写真2 定植時の様子

表1 農薬散布日と散布量

散布日	農薬名	希釈倍率 (倍)	散布量 (L)
8月18日	アドマイヤー	4000	1
9月12日	モスピラン	4000	40
10月3日	モスピラン	4000	40
10月20日	アフーム乳剤	2000	40

項目について母平均の差の検定により統計処理を行った。栽培期間中、2017年10月11日以降収穫時までの栽培は液肥を水に切り替え、肥料成分の補給を停止した。この間は栽培ベッドごとのECを測定するとともに、2017年10月11日から11月4日にかけて、2日おきに各列特定の2株について硝酸態窒素濃度の測定を行った。ECはECメーター (HORIBA Twin CONDUCTIVITY METER B-173)、硝酸態窒素は簡易硝酸態メーター (HORIBA LAQUA twin NO₃FOR CROPS B-741) によって測定した。

結果および考察

(1) 溶存酸素の有無が生育に与える影響

溶存酸素施用区と対照区における「トップセラー」

の生育・収量調査結果を表2に示した。検定には2群の母平均の差の検定を用いた。地上部重、主茎の茎数、主茎の硝酸態窒素濃度について、溶存酸素施用区は対照区に比べ5%水準で有意に高い値を示した。また、主茎の茎重および葉重、分けつの硝酸態窒素濃度について、溶存酸素施用区は対照区に比べて1%水準で有意に高い値を示した。その他の項目に関しては有意差は認められなかった。

溶存酸素施用区と対照区における「コーネル619」の収量調査結果を表3に示した。サンプル数が少なく統計処理を行うことができなかったため、それぞれの試験区の平均値で比較した。「トップセラー」と同様に主茎の茎重および葉重、硝酸態窒素濃度が溶存酸素施用区において大きい値を示した。ただし、

表2 トップセラーの生育・収量調査結果

部位	項目	溶存酸素施用区	対照区	有意性
全体	地上部重 (g)	2692	2325	*
	地下部重 (g)	262	258	
主茎	茎重 (g)	1369	1023	**
	葉重 (g)	509	412	**
	草丈 (cm)	78	76	
	茎数 (本)	38	32	*
	硝酸態窒素濃度 (ppm)	1887	963	*
分けつ	茎重 (g)	118	120	
	葉重 (g)	85	50	
	草丈 (cm)	59	60	
	分けつ数 (本)	5	5	
	茎数 (本)	8	10	
	硝酸態窒素濃度 (ppm)	4475	2980	**

※2群の母平均の差の検定を用いた。*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

表3 コーネル619の生育・収量調査結果

部位	項目	溶存酸素施用区	対照区
全体	地上部重 (g)	2062	1708
	地下部重 (g)	215	259
主茎	茎重 (g)	1106	1000
	葉重 (g)	485	444
	草丈 (cm)	63	58
	茎数 (本)	31	33
	硝酸態窒素濃度 (ppm)	2936	376
分けつ	茎重 (g)	54	40
	葉重 (g)	25	19
	草丈 (cm)	45	41
	分けつ数 (本)	6	5
	茎数 (本)	10	9
	硝酸態窒素濃度 (ppm)	2064	3265

主茎の茎数について対照区は溶存酸素施用区より多くなった他、分けつの硝酸態窒素濃度が対照区は溶存酸素施用区より高い値を示した。

以上の結果から、「トップセラー」の溶存酸素施用区は溶存酸素施用を行わない対照区よりも茎数、茎重、葉重の値が高く、セルリーの水耕栽培において溶存酸素の施用が収量の増加に有効であると推察された。比較参考として市販のセルリーの硝酸態窒素濃度を測定したところ2800 ppm（データ未掲載）であった。硝酸態窒素濃度について、溶存酸素施用区および対照区の主茎と分けつの平均値を比較すると、溶存酸素施用区が3181 ppm、対照区が1972 ppmであった。溶存酸素施用区は市販品よりもわずかに高い値を示し、対照区を1000 ppm以上上回る結果となった。溶存酸素を施用することで収量が増加するとともに茎葉の硝酸態窒素濃度が高くなることが認められたため、今後、出荷時に硝酸態窒素濃度を低く抑えられるような液肥濃度の調整や肥料成分の検討が必要であると考えられた。

(2) 肥料成分の補給停止による硝酸態窒素濃度の変化

① 硝酸態窒素濃度の推移

2017年10月11日に液肥供給を停止してから11月4日までの間に測定した、溶存酸素施用区と対照区のセルリー茎葉に含まれる硝酸態窒素濃度の推移を図2に示した。両区とも試験期間を通じて漸減したが、調査個体数が少なく、硝酸態窒素濃度の変動も比較的大きかったため、便宜的に溶存酸素施用区と対照区の単回帰式（溶存酸素施用区： $y = -169x + 5611$ 、対照区： $y = -192x + 5544$ ）を算出した。その結果、液肥停止時には両試験区間に差は見られ

なかったが、その後、溶存酸素施用区のほうが硝酸態窒素の低下が緩やかとなる傾向が見られた。

出荷の目安となる野菜の硝酸イオン濃度の基準値が日本では設けられていないため、市販のセルリーの硝酸態窒素濃度を測定して得られた2800 ppmを参考にして基準とし、液肥を停止してから硝酸態窒素濃度が基準値を下回るまでの日数を単回帰式から推測した。図2より、液肥停止から溶存酸素施用区で32日間、対照区で27日間経過した時点で基準の2800 ppmを下回ることが推測された。

本試験で使用した苗は市販のものを購入したため発芽後日数は不明であるが、収穫日の11月14日の時点で定植後の在圃日数が100日であった。本試験の作型は春播き夏秋どり栽培にあたり、定植後およそ80日の在圃日数で収穫適期を迎えるが、今回の試験では液肥供給停止後から収穫適期までの間に、基準となる硝酸態窒素濃度を下回らなかったため栽培期間を延長した。新潟県青果物出荷規格基準によると、セルリーの出荷規格は調整重が1.7 kg以上のものがLサイズ、調整重が1.4 kg以上のものがMサイズとなる⁹⁾。溶存酸素施用区で収穫されたセルリーの調整重（出荷基準では外葉、枯葉を除いたものとされているが、今回の調査では調整重を計測していなかったため主茎の茎重+葉重とした）の平均は1878 g、対照区で1435 gとなり、それぞれLサイズ、Mサイズとして出荷できる基準を満たしていた。硝酸態窒素濃度の減少の単回帰式および収穫適期が定植後およそ80日であることを考慮すると、春播き夏秋どりセルリーの水耕栽培において溶存酸素施用区の場合は定植後48日前後、対照区の場合は定植後53日前後で液肥供給停止することで、硝酸態窒素濃度

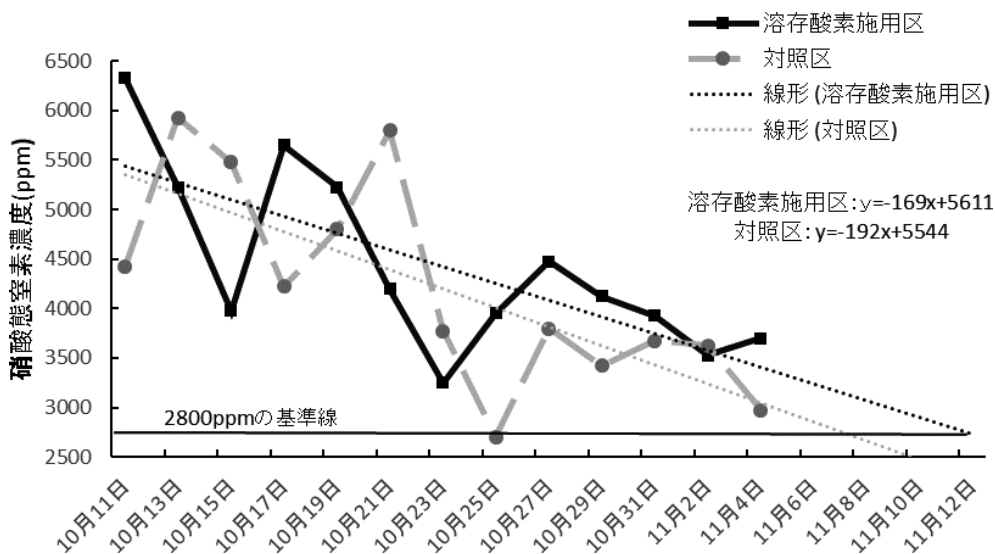


図2 硝酸態窒素濃度の推移

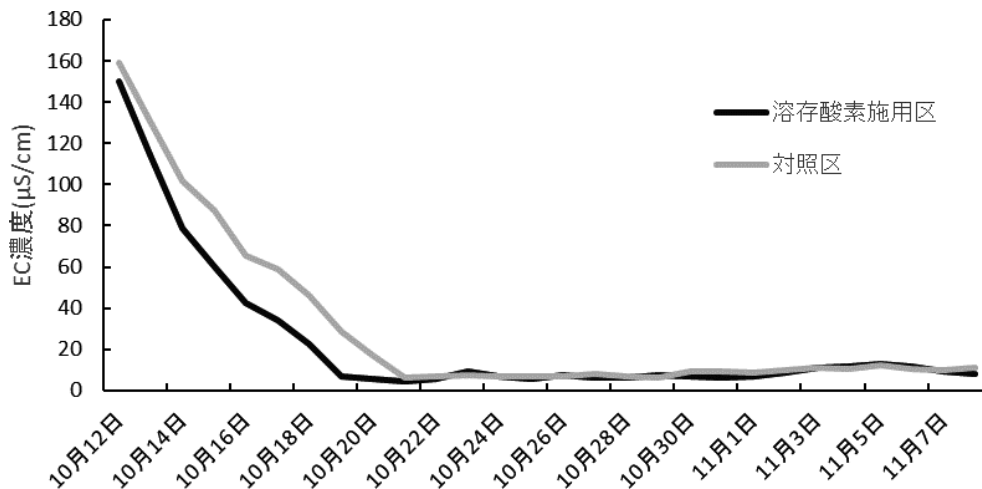


図3 セルリー水耕ベッド EC の推移

を収穫適期までに基準値まで下げられると推察された¹⁰⁾。しかし、定植後のこの期間は、セルリーが成長するための要水量が急激に増加する期間と重なっており、液肥供給停止による肥料不足が生育に与える影響が大きいことが懸念される。そのため、今後セルリーの水耕栽培においては、出荷規格を満たす生育を確保し、かつ低硝酸態窒素濃度の低いものを収穫することを指標に、肥料の変更や適正な液肥濃度を検討していく必要があると考えられた。

② EC の推移

本試験における液肥供給停止後の電気伝導度 (EC) の推移を図3に示した。溶存酸素施用区においては液肥供給停止後8日目、対照区においては液肥供給停止10日目でECが10 μS/cmを下回り、それ以降大きな変化はなかった。溶存酸素施用区と対照区を比較すると、溶存酸素施用区でのECの減少が早かった。これは水中の溶存酸素濃度が高いことでセルリーの根の活性が高まり、吸肥力が上昇したことによると考えられた。

謝 辞

本実験を遂行するに当たり、加圧式ナノバブル発生装置 (CN-28B) は有限会社コスモテックより提供頂きました。また、当研究室3年の太田岳志氏、野田泰良氏、畑亮太郎氏、樋川留美氏、平嶋千寛氏には収穫・調査など様々な面でご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

1) 農林水産省 HP 野菜生産統計平成29年度 (2019年1月22日閲覧)
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/>

sakumotu/sakkyou_yasai/index.html

2) 長野県 (2000) 『野菜栽培指標』 pp.99-109.
 3) 木下貴文・東出忠桐・藤野雅文・伊吹俊彦・笠原賢 (2010) 冬春セルリー栽培における傾斜地養液栽培システムの性能および根域加温の時間帯の効果. 園学研 9(1): p.53-58
 4) セルリー「トップセラー」を水耕栽培で小株どり出荷 (2019年1月22日閲覧)
<https://shop.takii.co.jp/tsk/bn/pdf/20120829.pdf>
 5) 福島麻奈美 (2002) 諏訪湖流出入河川における水質特性. 信州大学工学部水環境・土木工学科平成17年度学位論文 (2019年1月22日閲覧)
<http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/civil/toyota/toyota/syusoturon/06/fukushima.pdf>
 6) 久保 光 (2012) 調査研究結果報告資料 - 硝酸態窒素の問題点と解決方法. 国際交流の会とよなか HP (2019年1月22日閲覧)
http://tifa-toyonaka.org/wp-content/uploads/kurashikan_report2012Kubo.pdf
 7) 山下市二 (2014) 野菜における硝酸塩蓄積機構の解明と低減化技術の開発. 公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会 HP (2019年1月22日閲覧)
<https://www.jataff.jp/project/hightech/h14/1402.pdf>
 8) OAT アグリオ株式会社 HP: OAT ハウス肥料 (2019年1月22日閲覧)
<https://www.oat-agrio.co.jp/cgi/psearch/item/2013101716413104/index.html>
 9) 新潟県青果物出荷規格基準 (2019年1月22日閲覧)
www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/305/227/pdf%20syukkakikakukijyun.pdf
 10) 農文協編『野菜全書 レタス・サラダナ・セルリー・ハナヤサイ・ブロッコリー ―基礎生理と応用技術―』 pp.454-455、400-401、413

The effect of dissolved oxygen on the growth, yield and quality of celery by circulated hydroponics.

**Tokio MUKAI, Tatsuki KOBAYASHI, Natsuki SAITO, Mio SATO, Saki MAKINO,
Chinami SEKI and Shigemitsu KASUGA**

The Division of Plant Science and Resources, Faculty of agriculture, Shinshu University

Summary

We investigated the effect of dissolved oxygen on the growth, yield and quality of the celery by circulated hydroponic at the greenhouse of Alpine Field Research Center, the Faculty of Agriculture, Shinshu University. Celery seedling 'top seller' were planted in a circulated hydroponics and cultivated separately for dissolved oxygen supply plot and control plot (non-dissolved oxygen). The plants cultivated in the dissolved oxygen application plot held higher stem number, stem weight, and leaf weight than the control plot. From the result, application of dissolved oxygen is effective for increase of yield in celery using circulated hydroponics. However, nitrate nitrogen concentration of control and dissolved oxygen celery was 1972 ppm and 3181 ppm, where as it is commonly 2800 ppm in these supplied in the market. And the decrease rate of EC in the dissolved oxygen application plot was faster than control plot. Therefore, it is necessary to adjust the concentration of liquid fertilizer so that nitrate nitrogen concentration can be kept low at the time of putting on the market.

Key Words: celery, circulated hydroponics, dissolved oxygen, nitrate nitrogen concentration, spring sowing to autumn harvesting