

博士論文

塩類集積土壌における灌水方法の違いが  
促成栽培ナスの生育と  
土壌養分分布に及ぼす影響

平成 30 年 3 月

速水 悠

岡山大学大学院  
環境生命科学研究科

## 目次

### 第1章 序論

1. 1	施設栽培と塩類集積の現状	5
1. 2	高知県の農業と塩類集積の現状	7
1. 3	養液土耕栽培と少量多頻度灌水	9
1. 4	土壌養水分のモニタリング	9
1. 5	本研究の目的	10
1. 6	本研究の構成	11
	引用文献	12

### 第2章 塩類集積土壌での硝酸態窒素含有量がナス台木の初期生育に及ぼす影響

2. 1	概説	15
2. 2	材料および方法	16
2. 2. 1	供試土壌	16
2. 2. 2	栽培条件の設定	16
2. 2. 3	生育調査	21
2. 2. 4	植物体の養分吸収	21
2. 2. 5	土壌溶液	21
2. 2. 6	土壌試料調整および調査項目	21
2. 2. 7	統計処理	22
2. 3	結果	22
2. 3. 1	栽培終了時のナスの生育	22
2. 3. 2	試験終了時のナスの養分含有	23

2. 3. 3	土壌溶液中各種イオン濃度の推移	25
2. 3. 4	栽培終了時の土壌化学性	26
2. 4	考察	28
2. 5	要約	30
	引用文献	30

### 第3章 灌水方法の違いがナス栽培実圃場での畝内細根分布に及ぼす影響

3. 1	概説	33
3. 2	材料および方法	34
3. 2. 1	調査圃場および耕種概要	34
3. 2. 2	試験区の灌水処理	35
3. 2. 3	生育および収量調査	35
3. 2. 4	根量調査方法および採土方法	36
3. 2. 5	土壌試料調製および調査項目	36
3. 2. 6	統計処理	37
3. 3	結果	39
3. 3. 1	ナスの生育および収量	39
3. 3. 2	定植後 55 日 (10 月) の畝内分布	40
3. 3. 3	定植後 194, 195 日 (3 月) の畝内分布	43
3. 3. 4	定植後 257, 258 日 (栽培終了時) の畝内分布	46
3. 4	考察	49
3. 5	要約	50
	引用文献	50

第4章 日射比例およびタイマー制御灌水が促成ナスの根と養分の畝内分布に及ぼす影響	
4.1 概説	52
4.2 材料および方法	53
4.2.1 調査圃場の概要	53
4.2.2 調査, 採土方法	55
4.2.3 土壌試料調製および調査項目	56
4.2.4 統計処理	56
4.3 結果	57
4.3.1 圃場A (安芸, 日射比例制御灌水)	57
4.3.2 圃場B (芸西, タイマー制御灌水)	58
4.4 考察	61
4.5 要約	63
引用文献	63
第5章 結論	
5.1 総括	65
5.2 問題点と今後の研究課題	68
引用文献	69
謝辞	70

## 第1章 序論

### 1.1 施設栽培と塩類集積の現状

施設栽培とは、気象条件をポリフィルムの被覆により調整し、土地生産性を高める生産方法である。雨よけなど保温・加温以外の目的で行う被覆栽培や、施設内を加温することで冬期に高単価の夏野菜を生産する促成栽培が、施設栽培の例である。施設栽培は、需要に対応した周年生産を目標とし、昭和35～45年代に野菜の基本的な作型として確立され、(西, 2001) 昭和40年代に設置面積が急増して全国各地に普及した(表1.1, 橋田, 1965, 日本施設園芸協会, 1998)。施設栽培の初期のころは経営規模が小さく、容易にハウスを移動することができた。しかし、施設の経営規模拡大に伴って施設の大型化や機械化が進み、鉄やアルミ柱で固定されるようになったことや(図1.1, 日本施設園芸協会, 1998, 橋田, 1965), 市場との関係を確認するために主産地が形成されたことから(久馬, 2005), 同一位置で同一作物が繰り返し作付されるようになり、連作障害が表面化された。施設栽培での連作障害は、土壌病害やセンチュウ害が多いとされているが、土壌養分の欠乏や集積、養分間のバランスの崩れによる生理障害も問題である(久馬, 2005)。

施設栽培土壌では、降雨の影響をほとんど受けない。施設内の灌水は、通常下層への流出量は少なく、土壌表面からの蒸発により失われるものが大部分である(橋田, 1965)。そのため、下層から上層へと水が動き、それに伴って表層部分に塩類が集積する(渡邊ら, 2012)。塩類とは、肥料として施用された硝酸イオンや、肥料の副成分である硫酸イオンが、土壌中のカルシウムイオンと中和反応して生成される硝酸カルシウム、硫酸カルシウムなどの総称である(渡邊ら, 2012)。一般的に施設栽培では多肥の傾向があるため、表層において塩類集積が進行している。小原・中井(2003)は、全国の土壌モニタリング調査結果から、日本の施設栽培圃場では塩基飽和度の中央値が100%前後で推移し続けていることを報告した。野菜畑における塩基飽和度の改良目標値は56～80%であり、施設畑ではこれより高い。また、塩基バランスは、カルシウムの割合が高いがマグネシウムの割合が低く、

バランスが崩れている（小原・中井，2003）。

表 1.1 野菜の施設園芸の地域分布  
(橋田, 1965, 単位は ha)

地域	ガラス室	ハウス	合計
北海道	0.1	10.6	10.7
東北	1.5	20.8	28.3
関東	4.5	533.4	537.9
北陸	0.6	53.3	53.9
東山	6.3	166.8	173.1
東海	109.3	629.5	738.8
近畿	1.3	247.5	248.8
中国	5.0	200.0	205.0
四国	1.1	1,150.4	1,151.5
九州	1.8	363.0	364.8
合計	131.5	3,375.3	3,512.8

注) 昭和 38 年度農林省園芸局資料。

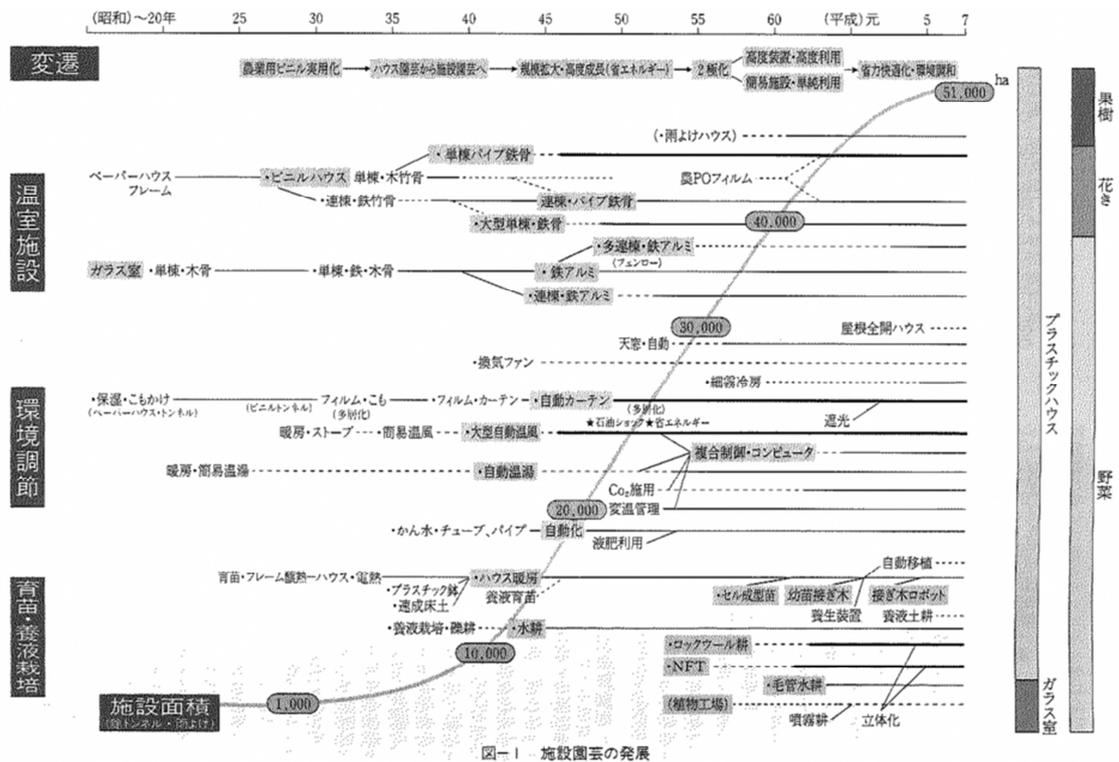


図 1.1 施設園芸の発展（日本施設園芸協会，1998）

塩類が集積すると、土壌 EC が上昇する。作物根は、体内と土壌溶液の濃度差によって生じる浸透圧により吸水しているため、土壌溶液中の塩類濃度が高くなると浸透圧が低くなり、十分に吸水できない（渡邊ら，2012）。塩類集積土壌に窒素を添加して高 EC とすると、コマツナの発芽や生育が阻害される（藤原ら，2015）。また、養液栽培では、培養液濃度が高いと細根の呼吸阻害が誘発されて窒素代謝阻害が起こる（加藤・鐘，1987）。

土壌溶液中の塩類濃度を下げるには、土壌水分を上げることが有効である。土壌水分が多いと土壌溶液の塩類濃度が低くなり（和田ら，1994）、土壌溶液の塩類濃度が低いほど土壌溶液の浸透圧は低下する（亀和田，1991）。このため、コマツナ種子では吸水が促進されて発芽率が上がり、高 EC 土壌でもコマツナの発芽障害の軽減と生育の改善が可能である（藤原ら，2015）。一方、土壌水分が常に高い状態では土壌孔隙の多くが水で満たされることから、作物への酸素供給が遅れて（波多野，2005）根腐れが起こるうえに、土壌養分が溶脱して地下水汚染につながる可能性がある。

## 1.2 高知県の農業と塩類集積の現状

高知県は、森林面積が 84%と平野部が少ないため、土地を集約的に活用した農業形態が主流である。なかでも、冬期も温暖で日照量が多いことを利用した施設園芸栽培が盛んであり、本来の旬ではない時期に出荷することで、土地利用型産地や都市近郊産地との競合を避けている。また、高知県産作物の周年出荷を狙い、促成栽培の休閑期に出荷する雨よけ栽培が県内中山間部で盛んである。

高知県の基幹作物であり、生産量・出荷量が日本一であるナスは、平野部では主に促成栽培、山間部では雨よけ栽培で生産されている。平成 24 年に県内の促成ナス主要産地で、栽培収量時の土壌を調査した結果、631 圃場のうち 40%で土壌 EC（湿潤土壌 80 g にイオン交換水 100 mL，乾土換算で約 1 : 2，高知県農業技術センター・農業技術課，2005）が  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  より高く、硝酸態窒素の残存がうかがえた。また中山間地域の雨よけ米ナス圃場で

は、栽培終了時の土壤EC（湿潤土壤 80 g にイオン交換水 100 mL，乾土換算で約 1 : 2，高知県農業技術センター・農業技術課，2005）が  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  を超える圃場の割合が平成 14 年から年々増加しており，硝酸態窒素残存量の増加がうかがえる（図 1.2，図 1.3）．塩類集積対策として，促成ナス栽培では湛水除塩が行われてきたが，収穫期間の長期化に伴い休閑期が短縮され，湛水除塩が行われない圃場が増えている（速水・前田，2017）．また雨よけ米ナス栽培では休閑期が冬期であるため，湛水除塩では次作開始までに土壤が乾かないことや，クリーニングクロープでは十分除塩ができるほどの生育期間が設けられないことから，除塩されていない．これらの圃場では，リン酸や塩基類に加え硝酸態窒素も残存している．栽培現場では，基肥としてさらに複合肥料を施用し苗を定植するため，初期生育への影響が懸念される．そこで本研究では，土壤水分を高く保ちながら溶脱を軽減する灌水方法として，点滴灌水チューブを利用した少量多頻度灌水に着目した．

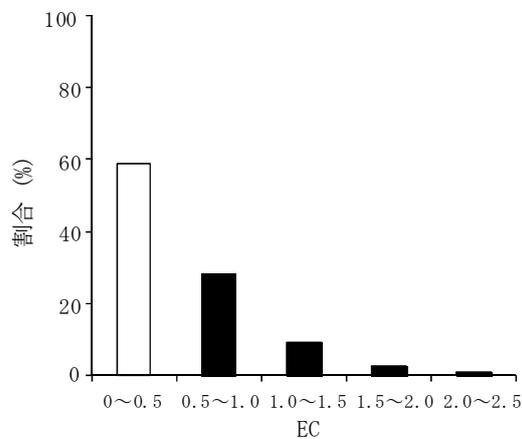


図1.2 平成24年高知県の促成ナス主要産地のナス栽培631圃場における栽培終了時の土壤ECの分布

注) 縦軸は，631圃場における割合を示す．

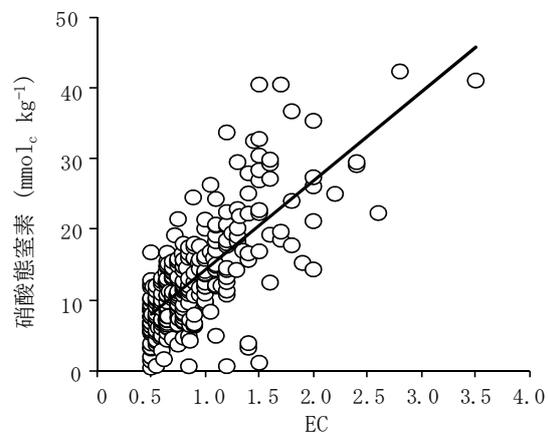


図1.3 平成24年高知県の促成ナス主要産地のナス栽培631圃場における栽培終了時の土壤ECと硝酸態窒素との関係

### 1.3 養液土耕栽培と少量多頻度灌水

養液土耕栽培では、根域に直接灌水および施肥ができることから、全層施肥や散水チューブによる灌水と比べて養水分管理が容易であり、効率の良い施肥が可能である（六本木・加藤，2000）。点滴灌水による灌水同時施肥の導入により、畑作物の養分吸収効率が上がることから、肥料利用効率が向上し、増収へつながることが報告されている（渡邊，2017）。点滴灌水では、1回当たりの水量をおさえて多頻度に灌水することにより、根域が制限される（Plaut *et al.*，1988）。そのため、根域近くの養分が消費されやすい位置に養水分を補給することができ、養分吸収効率が上がり養水分の下方浸透量を低減できる（六本木・加藤，2000）。また、日射量と植物の光合成や養水分吸収量との間に高い相関関係があることを利用し、一定の日射量が積算されるたびに自動で給水と施肥を行うことができる日射比例制御灌水は、作物の養水分要求量に応じた給液管理が可能である（篠原ら，2007）。塩類集積が進行している施設栽培圃場に養液土耕栽培を導入することで、作物の生育と収穫に必要な量を土壌中に存在する養分を考慮して施肥をすることができ、さらなる塩類集積の回避と富化養分を活かした施肥管理が可能である（六本木・加藤，2000）。高知県の促成ナス栽培地域では、灌水や施肥の省力化・効率化を図るため、点滴灌水チューブや日射比例制御灌水の導入が進んでいる（速水・前田，2018）。

### 1.4 土壌養水分のモニタリング

近年、土壌養水分のモニタリング技術が向上している。pFメーターでの土壌水分の確認や、土壌溶液による栽培期間中の肥料成分の確認は、これまで生産現場でも取り入れられてきた。また、TDRなどの埋設型土壌水分センサーや土壌のbulk ECセンサーは、栽培期間中に連続モニタリングができること、制御装置のモニター画面やパソコンで土壌水分やEC値の推移をリアルタイムに確認できることから、農業生産現場での普及が期待できる。しかし、施設栽培土壌の養分濃度は不均一なため（波多野ら，1982）、土壌環境のモニタリ

ング位置を決定することは難しい。また、効果的施肥技術確立のためには、根がいつ、どこに伸長しているのかを把握することが重要であり（日置ら，2010），その範囲内に水と肥料を供給する管理技術が必要である。根系の拡がりには，作物の種類や品種で異なるだけでなく，施肥・灌水・畝立てなど土壌環境においても異なるが，生産現場での定量的な根系の拡がりについて調査・研究された事例は少ない（日置ら，2010）。

## 1.5 本研究の目的

硝酸態窒素やリン酸，加里，苦土，石灰といった肥料成分が集積した土壌における，ナス台木やの生育や養分吸収について研究事例は少ない。施設ナス栽培では，土壌病害対策のため接木苗が主流であるため（速水・前田，2018），直接根が土に触れるナス台木への影響を明らかにする必要がある。また，促成ナス栽培において，少量多頻度灌水や日射比例制御灌水での根や養分分布の調査事例は少ない。少量多頻度灌水や日射比例制御灌水での肥培管理と作物生育との関係は，トマトでは研究が進んでいる（例えば，Tao *et. al.*, 2010 や M. Farneselli *et. al.*, 2015）が，ナスはトマトに比べて水分要求量が多いことや（鐘鈴峰・加藤徹，1988），硝酸態窒素やカルシウムが高濃度に含まれる培地では Mg 欠乏が起りやすいことから（位田ら，1971），養分吸収への影響も確認する必要がある。

そこで本研究では，まず，塩類集積土壌がナス台木の初期生育に及ぼす影響と，土壌水分を調整することによる生育阻害緩和効果を明らかにした。次に，少量多頻度灌水と，1日1回の灌水により促成ナスを栽培し，栽培期間中および栽培終了時に畝内の細根と養分の分布の推移を比較した。さらに，少量多頻度灌水の制御方法として，日射比例制御装置またはタイマーを導入している促成ナス栽培現地圃場において，栽培終了時の畝内の細根と養分の分布を明らかにした。これらの灌水管理方法が，根域の土壌水分を保持し，養分過剰による生育阻害を抑制する効果があるかを，栽培圃場における畝内土壌を詳細に分析することにより，実態を把握した。塩類集積土壌に少量多頻度灌水を導入することによる

根と土壤養分の関係が明らかになれば、蓄積養分の有効利用や養分吸収阻害の回避につながる事が期待できる。

## 1.6 本研究の構成

本論文は、5章で構成される。本論文の構成を図1.4に示す。第2章では、ナスの初期生育不良が起こる要因と、生育不良を緩和する土壤水分を明らかにする目的でポット試験を行い、塩類集積土壌における硝酸態窒素含有量と土壤水分が生育に及ぼす影響を評価した。第3章では、畝内の土壤水分の動きがナスの細根伸長や、土壤養分の動きに及ぼす影響を明らかにする目的で、灌水頻度の違いによる畝内のナス細根分布の違いを明らかにした。また、同一圃場内での灌水方法の違いについては、灌水方法がナスの生育・収量に及ぼす影響を明らかにした。第4章では、日射比例制御灌水が、養分の有効利用につながるかを明らかにする目的で、日射比例制御の少量多頻度灌水を導入している実農家圃場におけるナス細根と養分の分布を明らかにした。第5章では、以上をまとめて結論を述べた。

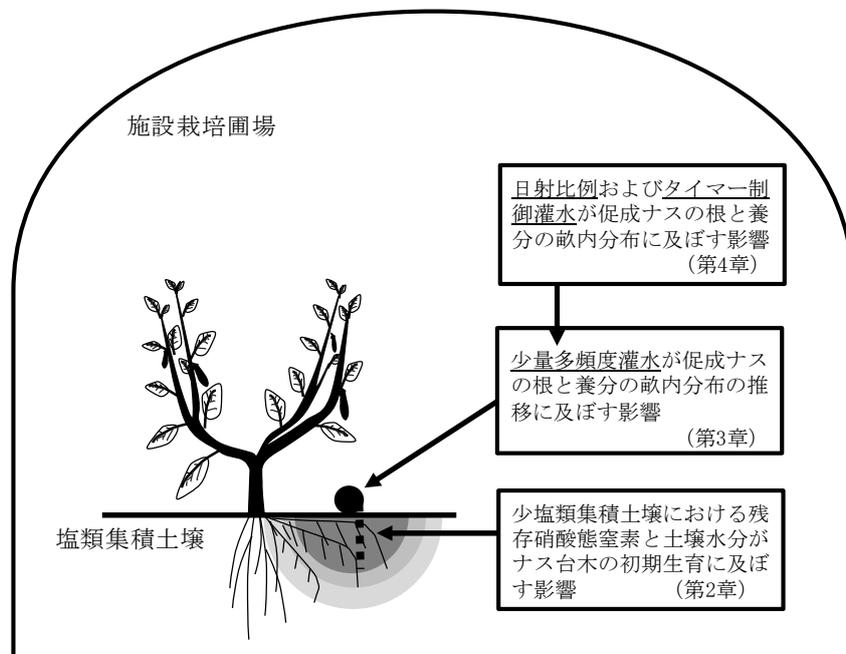


図 1.4 本論文の構成

## 引用文献

- 千葉大学園芸学部 2006. 日射比例型給液管理法を用いた養液土耕栽培によるハウレンソウの硝酸イオン低減化マニュアル, 野菜茶業研究所編. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 野菜茶業研究所, p13-23, 三重.
- 藤原宏子・荒木有朋・赤井直彦・衣笠雄一 2015. 塩類集積圃場における日射制御型拍動自動かん水装置を用いた土壌水分管理によるコマツナの発芽障害の軽減, 岡山県農業研報, 6, 49-54.
- 橋田茂和 1965. ビニールハウス栽培の土壌肥料的問題, . 土肥誌, 39, 9, 274-283.
- 波多野隆介・今井弘樹・岡島秀夫 1982. ハウス土壌における施肥成分の分布, 北大農邦文紀, 13, 4, 507-516.
- 波多野隆介 2005. 第9章 土壌の構造と機能, 土壌サイエンス入門, 三枝・木村 編. 文永堂出版, p. 177-192, 東京.
- 速水悠・前田守弘 2017. 日射比例およびタイマー制御灌水が促成ナスの根と養分の畝内分布に及ぼす影響, 土肥誌, 88, 435-440.
- 速水悠・前田守弘 2018. 塩類集積土壌における残存硝酸態窒素と土壌水分がナス台木の初期生育に及ぼす影響, 土肥誌, 89, ページ未定.
- 日置雅之・堀田行敏・伊藤裕朗 2010. 愛知県における施設野菜の根量分布, 土肥誌, 81, 598-602.
- 位田藤久太郎・橘昌司・藤城好信・丸山靖志 1971. 被覆下栽培における肥培の研究 (第2報) そ菜の塩類高濃度障害について (2) 多肥培地における果菜の生育とその無機栄養, 園学雑, 40, 121-127.
- 亀和田國彦 1991. 土壌溶液イオン組成からの EC の推定とアニオン種の違いが EC および浸透圧に及ぼす影響, 土肥誌, 62, 634-640.
- 加藤徹・鐘鈴峰 1987. ナス科果菜の比較生理生態的研究 (第2報) 培養液濃度が養水分吸

- 収に及ぼす影響, 生物環境調節, **25**, 47-55.
- 高知県農業技術センター・農業技術課 2005. 分析測定診断テキスト分析の手引き-第6次改訂増補版-, p. 33. 高知県.
- 久馬一剛 2005. 土とは何だろうか?, 京都大学学術出版会, P. 111-112, 京都.
- Michela Farneselli, Paolo Benincasa, Giacomo Tosti, Eric Simonne, Marcello Guiducci, Francesco Tei 2015. High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply, *Agricultural water management*, **154**, 52-58.
- 満田幸恵・荒木雅登・山本富三 2006. 促成ナスの点滴灌水施肥(養液土耕)栽培が土壌の物理性および根の形態に及ぼす影響, 福岡農研報, **25**, 29-32.
- 西貞夫監修 2001. 新編野菜園芸ハンドブック. 養賢堂, P. 84-87, 東京. 小原・中井. 2003. 農耕地土壌の交換性塩基類の全国的変動 農耕地土壌の特性変動(I), 土肥誌, 74, 5, 615-622.
- Plaut Z, Carmi A, Grava A 1988. Cotton growth and production under drip irrigation restricted soil wetting, *Irrig Sci.* **9**, 143.
- 六本木和夫・加藤俊博 2000. 野菜・花卉の養液土耕, 農文協, p. 14-30. 東京.
- 篠原温・塚越覚・林菜穂子・丸尾達・北条雅章 2007. ホウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による硝酸濃度低減化技術の開発, 園学研. **6**, 189-193.
- Tao Ren, Peter Christie, Jingguo Wang, Qing Chen, Fusuo Zhang 2010. Root zone soil nitrogen management to maintain high tomato yields and minimum nitrogen losses to the environment, *Scientia Horticulturae*, **125**, 25-33.
- 鐘鈴峰・加藤徹 1988. ナス科果菜の生育及び収量に及ぼす土壌水分の影響. 高知大学研報, **37**, 51-59. 渡邊和彦, 後藤逸男, 小川吉雄, 六本木和夫. 環境・資源・健康を考えた土と施肥の新知識, 全肥商連, P. 160, 東京.

和田信一郎・角藤やす子・小田原孝治・吉村秀磨 1994. 7点の施設土壌における水分含有量の変化に伴う土壌溶液イオン組成の変化, 土肥誌, **65**, 530-537.

日本施設園芸協会編集 1998. 施設園芸ハンドブック, 園芸情報センター, p6-7, 東京.

## 第2章

### 塩類集積土壌における残存硝酸態窒素と土壌水分がナス台木の初期生育に及ぼす影響

#### 2.1 概説

高知県の主要な園芸作物であるナスの施設栽培圃場では塩類集積が進行している（速水・前田，2017）。また，平野部で盛んな促成ナス栽培では，収穫期間の長期化に伴い休閑期が短縮され，湛水除塩が行われない圃場が増えている（速水・前田，2017）。一方，中山間地域で盛んな雨よけ米ナス栽培でも，栽培終了後に硝酸態窒素が残存する圃場が多い（JA全農高知，未発表）。しかし，休閑期が冬期であるため，湛水除塩では次作開始までに土壌が乾かない可能性があることや，クリーニングクロープでは十分除塩ができるほどの生育期間が設けられないため，これらの圃場では除塩されていない。施設ナス栽培の農家圃場において，栽培終了時期の畝内の部位別土壌養分含有量を調査したところ，畝肩に硝酸態窒素を含む養分が高濃度で残存していた（速水・前田，2017）。つまり，除塩しない場合に土壌のECが高い状態で次の栽培が開始されることになる。これに加えて，いずれの地区でも定植前に苦土石灰や複合肥料が施用されるため，リン酸や塩基類の集積が進行し，ECが高い土壌にナスが定植されることによる生育阻害が起こる可能性がある。

塩類集積土壌に窒素を添加して高ECとした場合，コマツナの発芽や生育が阻害されることが報告されている（藤原ら，2015）。これは高EC土壌では，土壌溶液中の塩類濃度が高まると浸透圧が高まり（亀和田，1991），吸水が阻害されるためである（位田ら，1971）。ナスはトマトやピーマンと比べて窒素濃度が高い培地でも生育すると報告されているが（位田ら，1971），塩基類が集積した土壌に窒素を過剰に添加した場合，吸水阻害や，拮抗作用による養分欠乏などの生育不良が起こるおそれがある。

ナス栽培では，土壌病害対策として接木苗が使われている。高知県のナス栽培で主に使われている台木品種の‘台太郎’は，青枯病の抵抗性品種である（門馬ら，1997）。ナス穂

木の生育は台木の根量や葉数の影響を受け（宍戸ら，1995），収量は台木の初期生育に左右される（楼・加藤，1987）．ナスの養分吸収量は台木の種類で異なるが（山崎・徳橋，1989），窒素含有量が多い塩類集積土壌で‘台太郎’を栽培したときの生育や養分吸収への影響は明らかでない．また，藤原ら（2015）は，高EC土壌でも土壌水分が過湿にならない範囲で高く保つことによりコマツナの発芽障害の軽減と生育の改善が可能であることを明らかにした．これは，高土壌水分状態では，ECや土壌溶液中の $\text{NO}_3^-$ などの塩類濃度が低くなるためである．本研究では，塩類集積土壌における硝酸態窒素含有量と土壌水分量の違いが，ナス台木の初期生育に及ぼす影響を，高知県で主流な品種である‘台太郎’を用いて明らかにすることを目的とした．

## 2.2 材料および方法

### 2.2.1 供試土壌

高知県安芸市の促成ナス栽培圃場で採取した普通灰色低地土（農耕地土壌分類第3次改訂版，1995），土性CLの土壌に，4日間井戸水をかけ流して除塩処理し，供試土壌とした．除塩後供試土壌の化学性は表2.1のとおりである．なお，高知県が定める施設畑土壌の改良目標値は，P，K，Ca，Mg含有量がそれぞれ12.7～42.3，3.2～9.8，62.9～73.5，19.4～24.8  $\text{mmolc kg}^{-1}$ である（高知県農業技術センター・農業技術課，2005a）．このため，供試土壌はリン酸および交換性塩基が集積した土壌であるといえる．

### 2.2.2 栽培条件の設定

副塩添加を避けるため，硝酸態窒素含有量の調整には1  $\text{mol L}^{-1}$ 硝酸を用いた．1  $\text{mol L}^{-1}$ 硝酸131.7，263.3，395.0 gにイオン交換水を加えて1.2 Lとした溶液を供試土壌10 kg（風乾土）に添加し，硝酸態窒素含有量が17.0，34.0，51.0  $\text{mmolc kg 乾土}^{-1}$ の土壌（以下，N標準，N2倍，N3倍とする）を作成した（重量含水率0.16  $\text{kg kg}^{-1}$ ）．

N標準の硝酸態窒素含有量は、現地の仮比重  $840 \text{ kg m}^{-3}$ 、作土層  $10 \text{ cm}$  から、 $20.0 \text{ g N m}^{-2}$  に相当し、高知県が定める促成ナス、雨よけ米ナスの基肥窒素施肥基準量  $21\sim 25 \text{ g N kg}^{-1}$  (高知県環境農業推進課, 2010) とほぼ等しい。なお、表 2.2 に硝酸添加後の土壌化学性を示す。硝酸添加による pH 低下と EC 上昇が認められたものの、高知県が定めるナスの好適土壌 pH ( $5.5\sim 6.5$ ) の範囲内であり (高知県農業技術センター・農業技術課, 2005b), 硝酸態窒素以外の可給態 P, 交換性塩基への影響は認められなかった。

表2.1 除塩後供試土壌の化学性

pH	EC $\text{dS m}^{-1}$	TN $\text{g kg 乾土}^{-1}$	TC	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	可給態 P	交換性				CEC	塩基飽和度 %
									K	Ca	Mg	Na		
7.3	0.1	4.2	50.3	0.19	0.19	0.42	0.04	144	21.4	269	43.9	1.4	319	89.7

注) pHとECは新鮮土壌を用い、土壌：イオン交換水=1：2で測定した。

## 2.2 試験開始時の土壌化学性 (n=1)

処理	pH	EC $\text{dS m}^{-1}$	含水率 $\text{kg kg}^{-1}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	可給態 P	交換性				
						K	Ca	Mg	Na	
「水分少」	N標準	6.0	0.84	0.23	17.8	156	18.7	260	44.1	1.1
	N2倍	5.8	1.39	0.23	32.2	160	20.0	260	47.6	1.1
	N3倍	5.6	1.76	0.23	46.1	160	18.9	249	47.5	1.2
「水分中」	N標準	5.9	0.78	0.27	16.8	168	18.5	265	45.3	1.1
	N2倍	5.9	1.26	0.27	32.0	162	17.3	245	44.3	1.0
	N3倍	5.7	1.58	0.27	43.7	172	19.3	251	48.0	1.3
「水分多」	N標準	6.2	0.69	0.31	16.1	157	19.1	261	45.9	1.2
	N2倍	5.7	1.11	0.31	32.9	166	19.0	249	46.1	1.2
	N3倍	5.7	1.52	0.31	43.1	170	20.5	247	48.9	1.1

注) pHとECは新鮮土壌を用い、土壌：イオン交換水=1：2で測定した。

各湿润土壤3.36 kgを1/5000 aワグネルポットに高さ16.8 cmまで充填した(容量は約3.2 L, 仮比重879 kg m<sup>-3</sup>, ポット直径15.6 cm). 2016年6月13日に, 上記のワグネルポットに本葉3~4枚のナス台木苗(品種: 台太郎, 5月10日, 128穴のセルトレーに播種)を移植した. 6月17日の灌水処理開始まではイオン交換水を毎日1回, 50~100 mLずつ株元に灌水した. 6月17日にポットにイオン交換水を加え, 各硝酸態窒素含有量の土壤重量含水率をそれぞれ0.23, 0.27, 0.31 g g<sup>-1</sup>(最大容水量の41, 51, 61%, これ以降, それぞれ「水分少」, 「水分中」, 「水分多」)に調整し, ポット全重を測定して開始時の重量とした. この時のpFは, 水分特性曲線(図2.1)から1.7(-4.9 kPa), 2.5(-31.0 kPa), 3.4(-246 kPa)と算出される. なお, 水分特性曲線は, pF0.5~pF1.5は砂柱法, pF1.8とpF2.7は加圧板法により測定した(土壤標準分析・測定法委員会編, 1986a).

水分特性曲線の横軸をpF, 縦軸を重量含水率とした場合, 高い決定係数が得られたため(R<sup>2</sup>=0.982), 回帰直線を用いて土壤水分をpFに換算した. また, ナス初期生育の適正土壤水分はpF1.5~1.8(-3.1~-6.2 kPa)であり(高知県園芸農業協同組合連合会, 1990), 光合成が低下し始める土壤水分はpF2.4~2.5(-24.6~-31.0 kPa)である(加藤・鐘, 1987a). 水分調整以後は1, 2日毎にポット全重を測定し, 試験開始時の重さとなるようイオン交換水を加えた. 試験は7月15日まで継続した. 硝酸態窒素含有量3処理区と, 土壤水分条件3処理区の合計9処理区は, すべて3反復で試験した. 試験はガラスハウス内で行った. ハウス天井には遮光率50~55%の寒冷紗(らくらくスーパーホワイトW55, 日本ワイドクロス)を被覆した. なお, 7月2日以降は蒸散量や吸水量が多くなり, 加水直前の土壤の重量含水率は, いずれの処理でも減少した(図2.2). 特に, 晴天が続くハウス内の温度が高かった14日~20日目は(図2.3), 加水前の重量含水率の低下が大きく, 20日目は「水分少」が0.18 g g<sup>-1</sup>, 「水分中」が0.19~0.22 g g<sup>-1</sup>, 「水分多」が0.21~0.22 g g<sup>-1</sup>となり, 処理間差が小さかった.

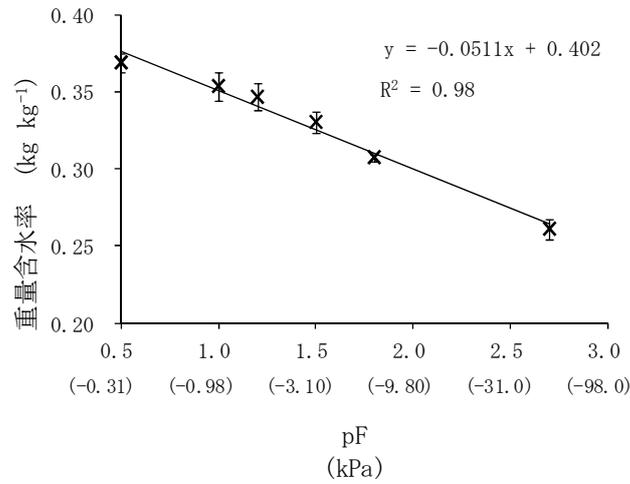


図2.1 供試土壌の水分特性曲線 (n=3)

注) 図中のエラーバーは標準偏差を示した。

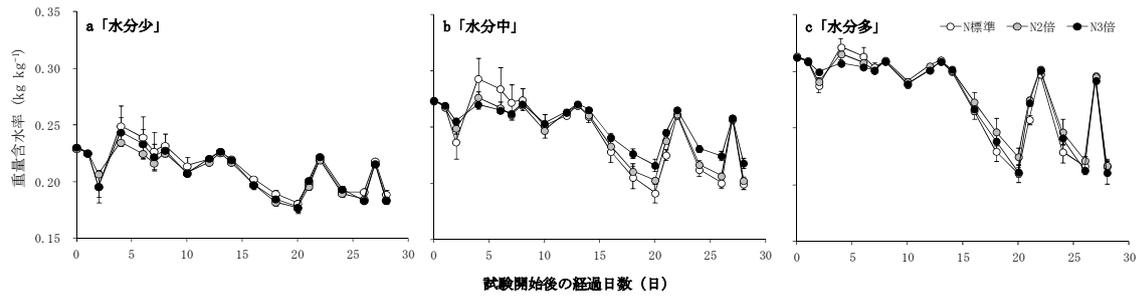


図2.2 水分調整前土壌の重量含水率の推移 (n=3)

注1) 水分調整前に測定した重量により算出した。

注2) 図中のエラーバーは標準偏差を示した。

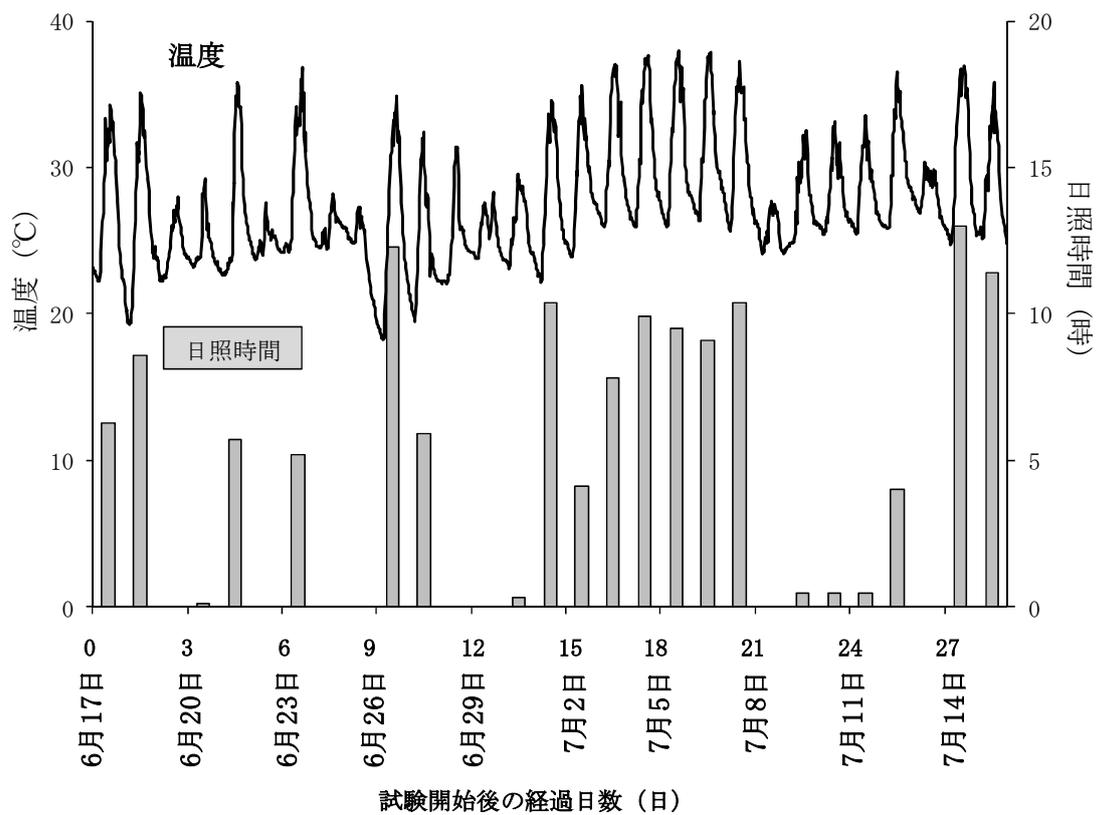


図2.3 ガラス室内の温度と日照時間

注) 日照時間は南国市後免での測定結果.

### 2.2.3 生育調査

栽培終了時（7月15日，試験開始から28日目）に草丈，葉数，第一葉直下の茎径を計測した．植物体は地上部と根に分けて80℃で乾燥し，乾物重を測定した．

### 2.2.4 植物体の養分吸収

乾燥した植物体を粉碎し，N，P，K，Ca，Mg，Naの分析に供した．NはNCアナライザー（SUMIGRAPH NC-22F，住化分析センター）で測定した．湿式灰化法（高知県農業技術センター・農業技術課，2005c）で分解した植物体を，Pはバナドモリブデン酸法（作物分析法委員会編，1975），K，Ca，Mgは原子吸光光度法，Naは炎光光度法（いずれもAA-7000，SHIMADZU）で測定した．

### 2.2.5 土壌溶液

試験開始後1，7，13，21，26日目にファイバー式土壌溶液採取器（DIK301B，大起理化学工業）により採取した．土壌水分の調整から10分経過後に採水を開始し，1日経過後に回収した．なお，26日目の「水分少」のN標準，N2倍，「水分中」のN標準は採取量が少なかったため分析できなかった．採水後，土壌溶液中の $K^+$ ， $Ca^{2+}$ ， $Mg^{2+}$ を原子吸光光度法， $Na^+$ を炎光光度法で測定し，陰イオンは， $NO_3^-$ ， $SO_4^{2-}$ ， $PO_4^{3-}$ ， $Cl^-$ としてイオンクロマトグラフ（ICS-1000，日本ダイオネクス）で測定した．

### 2.2.6 土壌試料調整および調査項目

供試土壌に加えて，ナス栽培前後のpH，EC，養分の変化を比較するため，栽培開始時および終了時の湿潤土壌を採取した．5 mmの篩に通し，pHおよびEC（湿潤土壌80 gにイオン交換水100 mL，乾土換算で約1：2，高知県農業技術センター・農業技術課，2005d）（pHはHM-25M，TOA DKK，ECはCM-60S，TOA DKK）を測定した．また湿潤土壌30 gに1.3 mol L<sup>-1</sup>塩

化カリウム水溶液を100 mL加えて振とう抽出し、硝酸態窒素濃度をオートアナライザー (QuAatro 2-HR, Bltec) により測定した。交換性K, Ca, MgおよびNaは、風乾土7 gに1 mol L<sup>-1</sup> 酢酸アンモニウムを100 mL加えて振とう抽出した(土壤環境分析法編集委員会編, 1997)。K, Ca, Mgは原子吸光光度法, Naは炎光光度法で測定した。TN, TCはNCアナライザーで測定した。可給態Pはトルオーグ法で抽出し、モリブデンブルー法で測定した(土壤標準分析・測定法委員会編, 1986b)。

### 2.2.7 統計処理

栽培終了時の草丈, 葉数, 茎径, 地上部および根の乾物重, 養分含有量, 土壤化学性については, 土壤水分および硝酸態窒素含有量を因子とした二元配置分散分析を行った後, 硝酸態窒素含有量が同じで土壤水分が異なる条件, 土壤水分が同じで硝酸態窒素含有量が異なる条件でそれぞれTukeyのHSD検定による多重比較を行った。統計処理ソフトはR (Version 3.3.1, The R Foundation for Statistical Computing) を用いた。

## 2.3 結果

### 2.3.1 栽培終了時のナスの生育

草丈, 葉数, 茎径, 地上部および根の乾物重は, 土壤水分の違いによる有意差があり ( $p < 0.01$ ), いずれの硝酸態窒素含有量でも土壤水分が多いほど生育は良好であった(表2.3)。一方, 草丈には, 硝酸態窒素含有量の違いにも有意差があり ( $p < 0.05$ ), 「水分中」で硝酸態窒素含有量が多いほど小さかった(表2.4)。茎径と地上部乾物重には, 土壤水分と硝酸態窒素含有量の交互作用が認められた(それぞれ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ , 表2.4)。「水分中」では, N3倍はN標準と比べて茎径は0.8 cm小さく(13%減), 地上部乾物重は3.2 g小さかった(32%減)のに対し, 「水分多」では, 茎径は0.4 cm小さく(5%減), 地上部乾物重は0.3 g小さかった(3%減)。

表2.3 同一硝酸態窒素含有量で土壤水分が異なる条件における栽培終了時の生育 (n=3)

処理		草丈	葉数 <sup>注4)</sup>	茎径 <sup>注5)</sup>	乾物重 (g 株 <sup>-1</sup> )	
		cm	枚	mm	地上部	根
N標準	「水分少」	11.7 ± 0.8 c	7.3 ± 0.3 b	4.9 ± 0.2 a	4.8 ± 0.9 a	1.0 ± 0.1 a
	「水分中」	15.8 ± 0.8 b	9.2 ± 0.6 a	6.4 ± 0.3 a	9.9 ± 1.2 a	1.6 ± 0.3 a
	「水分多」	19.5 ± 1.3 a	9.8 ± 0.6 a	7.7 ± 0.4 a	13.1 ± 1.1 a	1.8 ± 0.4 a
N2倍	「水分少」	11.2 ± 1.3 b	7.7 ± 0.3 b	5.5 ± 0.3 c	5.5 ± 0.5 c	1.2 ± 0.2 a
	「水分中」	14.7 ± 0.3 a	8.8 ± 0.3 ab	6.2 ± 0.3 b	8.9 ± 0.3 b	1.4 ± 0.0 a
	「水分多」	17.5 ± 1.5 a	9.7 ± 1.3 a	7.2 ± 0.1 a	11.9 ± 1.8 a	1.5 ± 0.2 a
N3倍	「水分少」	12.2 ± 1.3 b	7.2 ± 0.3 b	5.4 ± 0.3 b	5.9 ± 0.7 b	1.2 ± 0.1 b
	「水分中」	13.2 ± 0.8 b	7.7 ± 0.8 b	5.6 ± 0.3 b	6.7 ± 0.6 b	1.2 ± 0.2 b
	「水分多」	17.8 ± 0.8 a	10.0 ± 0.5 a	7.3 ± 0.1 a	12.8 ± 1.4 a	1.6 ± 0.2 a
分散分析	水分	**	**	**	**	**
	窒素	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	交互作用	n. s.	n. s.	**	*	n. s.

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 硝酸態窒素含有量が同じで土壤水分が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した ( $P < 0.05$ )。

注3) 表中の\*\*は1%水準、\*は5%水準で有意差があることを、n. s. は有意差がないことを示した。

注4) 展開葉について計測した。

注5) 第一葉直下で測定した。

表2.4 同一土壤水分で硝酸態窒素含有量が異なる条件における栽培終了時の生育 (n=3)

処理		草丈	葉数 <sup>注4)</sup>	茎径 <sup>注5)</sup>	乾物重 (g 株 <sup>-1</sup> )	
		cm	枚	mm	地上部	根
「水分少」	N標準	11.7 ± 0.8 a	7.3 ± 0.3 a	4.9 ± 0.2 a	4.8 ± 0.9 a	1.0 ± 0.1 a
	N2倍	11.2 ± 1.3 a	7.7 ± 0.3 a	5.5 ± 0.3 a	5.5 ± 0.5 a	1.2 ± 0.2 a
	N3倍	12.2 ± 1.3 a	7.2 ± 0.3 a	5.4 ± 0.3 a	5.9 ± 0.7 a	1.2 ± 0.1 a
「水分中」	N標準	15.8 ± 0.8 a	9.2 ± 0.6 a	6.4 ± 0.3 a	9.9 ± 1.2 a	1.6 ± 0.3 a
	N2倍	14.7 ± 0.3 ab	8.8 ± 0.3 ab	6.2 ± 0.3 ab	8.9 ± 0.3 a	1.4 ± 0.0 ab
	N3倍	13.2 ± 0.8 b	7.7 ± 0.8 b	5.6 ± 0.3 b	6.7 ± 0.6 b	1.2 ± 0.2 b
「水分多」	N標準	19.5 ± 1.3 a	9.8 ± 0.6 a	7.7 ± 0.4 a	13.1 ± 1.1 a	1.8 ± 0.4 a
	N2倍	17.5 ± 1.5 a	9.7 ± 1.3 a	7.2 ± 0.1 a	11.9 ± 1.8 a	1.5 ± 0.2 a
	N3倍	17.8 ± 0.8 a	10.0 ± 0.5 a	7.3 ± 0.1 a	12.8 ± 1.4 a	1.6 ± 0.2 a
分散分析	水分	**	**	**	**	**
	窒素	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	交互作用	n. s.	n. s.	**	*	n. s.

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 土壤水分が同じで硝酸態窒素含有量が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した ( $P < 0.05$ )。

注3) 表中の\*\*は1%水準、\*は5%水準で有意差があることを、n. s. は有意差がないことを示した。

注4) 展開葉について計測した。

注5) 第一葉直下で測定した。

### 2.3.2 試験終了時のナスの養分含有量

土壤水分の違いにより、PとMg含有量に有意差があった ( $p < 0.01$ , 表2.5)。P含有量は土壤水分が多いほど高く ( $p < 0.05$ )、Mg含有量はN標準の「水分中」や「水分多」より「水分少」で高かった ( $p < 0.05$ )。硝酸態窒素含有量の違いにより、N, P, K, Ca, Na含有量に有意差があった ( $p < 0.01$ , 表2.6)。N, K, Ca含有量は、「水分中」と「水分多」ではN標準

よりN2倍やN3倍で高く、Nでは「水分多」で、Caでは「水分中」と「水分多」で有意差があった ( $p < 0.05$ )。また、Ca, Na含有量には土壤水分と硝酸態窒素含有量の交互作用が認められた (それぞれ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ , 表2.6)。Ca含有量は、土壤水分が高く硝酸態窒素含有量が多いほど多く、N3倍ではN標準より「水分少」で2.1 g kg<sup>-1</sup>多く (14%増), 「水分中」で8.9 g kg<sup>-1</sup>多く (77%増), 「水分多」で13.0 g kg<sup>-1</sup>多かった (168%増)。Na含有量は、土壤水分が多く硝酸態窒素含有量が少ないほど多かったが、全体的に含有量が少なく (0.16 g kg<sup>-1</sup>以下), いずれの土壤水分でも、N標準と3倍との差は0.06 g kg<sup>-1</sup>以下であった。

表2.5 同一硝酸態窒素含有量で土壤水分が異なる条件における植物体の養分含有量 (g kg<sup>-1</sup>) (n=3)

処理	N	P	K	Ca	Mg	Na	
N標準	「水分少」	44.0 ± 1.9 a	2.65 ± 0.05 c	57.1 ± 2.1 a	14.7 ± 2.5 a	4.57 ± 0.09 a	0.20 ± 0.04 a
	「水分中」	42.2 ± 1.4 a	2.94 ± 0.04 b	57.7 ± 2.1 a	11.6 ± 0.9 ab	4.11 ± 0.04 b	0.25 ± 0.04 a
	「水分多」	41.0 ± 1.8 a	3.45 ± 0.15 a	59.1 ± 1.6 a	7.8 ± 0.5 b	3.74 ± 0.29 b	0.25 ± 0.02 a
N2倍	「水分少」	46.2 ± 1.2 a	2.74 ± 0.06 b	61.6 ± 2.1 a	17.8 ± 0.8 a	4.38 ± 0.43 a	0.25 ± 0.00 a
	「水分中」	44.3 ± 1.2 a	2.91 ± 0.06 b	61.4 ± 0.7 a	19.0 ± 1.9 a	4.04 ± 0.15 a	0.20 ± 0.02 b
	「水分多」	46.0 ± 0.6 a	3.38 ± 0.15 a	63.8 ± 0.9 a	18.4 ± 1.3 a	3.90 ± 0.12 a	0.22 ± 0.01 ab
N3倍	「水分少」	45.1 ± 0.3 a	2.77 ± 0.04 c	63.0 ± 2.1 a	16.7 ± 1.4 b	4.28 ± 0.19 a	0.16 ± 0.01 a
	「水分中」	45.4 ± 0.8 a	3.14 ± 0.07 b	62.8 ± 1.9 a	20.5 ± 0.3 a	4.33 ± 0.17 a	0.19 ± 0.03 a
	「水分多」	46.0 ± 1.6 a	3.56 ± 0.13 a	62.1 ± 2.5 a	20.8 ± 0.7 a	3.99 ± 0.21 a	0.19 ± 0.01 a
分散分析	水分	n. s.	**	n. s.	n. s.	**	n. s.
	窒素	**	**	**	**	n. s.	**
	交互作用	n. s.	n. s.	n. s.	**	n. s.	*

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 硝酸態窒素含有量が同じで土壤水分が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した ( $P < 0.05$ )。

注3) 表中の\*\*は1%水準, \*は5%水準で有意差があることを, n. s. は有意差がないことを示した。

表2.6 同一土壤水分で硝酸態窒素含有量が異なる条件における植物体の養分含有量 (g kg<sup>-1</sup>) (n=3)

処理	N	P	K	Ca	Mg	Na	
「水分少」	N標準	44.0 ± 1.9 a	2.65 ± 0.05 a	57.1 ± 2.1 b	14.7 ± 2.5 a	4.57 ± 0.09 a	0.20 ± 0.04 ab
	N2倍	46.2 ± 1.2 a	2.74 ± 0.06 a	61.6 ± 2.1 ab	17.8 ± 0.8 a	4.38 ± 0.43 a	0.25 ± 0.00 a
	N3倍	45.1 ± 0.3 a	2.77 ± 0.04 a	63.0 ± 2.1 a	16.7 ± 1.4 a	4.28 ± 0.19 a	0.16 ± 0.01 b
「水分中」	N標準	42.2 ± 1.4 b	2.94 ± 0.04 b	57.7 ± 2.1 b	11.6 ± 0.9 b	4.11 ± 0.04 a	0.25 ± 0.04 a
	N2倍	44.3 ± 1.2 ab	2.91 ± 0.06 b	61.4 ± 0.7 ab	19.0 ± 1.9 a	4.04 ± 0.15 a	0.20 ± 0.02 a
	N3倍	45.4 ± 0.8 a	3.14 ± 0.07 a	62.8 ± 1.9 a	20.5 ± 0.3 a	4.33 ± 0.17 a	0.19 ± 0.03 a
「水分多」	N標準	41.0 ± 1.8 b	3.45 ± 0.15 a	59.1 ± 1.6 b	7.8 ± 0.5 c	3.74 ± 0.29 a	0.25 ± 0.02 a
	N2倍	46.0 ± 0.6 a	3.38 ± 0.15 a	63.8 ± 0.9 a	18.4 ± 1.3 b	3.90 ± 0.12 a	0.22 ± 0.01 ab
	N3倍	46.0 ± 1.6 a	3.56 ± 0.13 a	62.1 ± 2.5 ab	20.8 ± 0.7 a	3.99 ± 0.21 a	0.19 ± 0.01 b
分散分析	水分	n. s.	**	n. s.	n. s.	**	n. s.
	窒素	**	**	**	**	n. s.	**
	交互作用	n. s.	n. s.	n. s.	**	n. s.	*

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 土壤水分が同じで硝酸態窒素含有量が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した ( $P < 0.05$ )。

注3) 表中の\*\*は1%水準, \*は5%水準で有意差があることを, n. s. は有意差がないことを示した。

### 2.3.3 土壤溶液中各種イオン濃度の推移

土壤溶液中の陰イオン，陽イオン濃度は，硝酸態窒素含有量が多いほど有意に高かった ( $p < 0.05$ )。陰イオンでは $\text{NO}_3^-$ が75%以上を占め， $\text{SO}_4^{2-}$ ， $\text{Cl}^-$ ， $\text{PO}_4^{3-}$ はわずかであった。陽イオンでは $\text{Ca}^{2+}$ が最も多く，次いで $\text{Mg}^{2+}$ であり， $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ で総陽イオンの82%を占めた (図2.4)。

「水分少」と「水分中」では，栽培開始～7日目に土壤溶液中のイオン濃度が最大となり，13日目以降は減少した。一方「水分多」では，21日目までイオン濃度が維持される傾向であった。また，N標準とN2倍では，いずれの土壤水分でも土壤溶液中のイオン濃度の最高値は同程度であった。N標準では，陰イオン，陽イオンともに $39\sim 44 \text{ mmolc L}^{-1}$ であり，そのうち $\text{NO}_3^-$ は $37\sim 41 \text{ mmolc L}^{-1}$ であった。N2倍では，陰イオン，陽イオンともに $59\sim 74 \text{ mmolc L}^{-1}$ であり， $\text{NO}_3^-$ は $59\sim 71 \text{ mmolc L}^{-1}$ であった。しかし，N3倍における両イオン濃度の最高値は土壤水分で異なり，「水分中」の陰イオン濃度 $114 \text{ mmolc L}^{-1}$ ，陽イオン濃度 $115 \text{ mmolc L}^{-1}$ ， $\text{NO}_3^-$   $111 \text{ mmolc L}^{-1}$ と最も高く，「水分少」と「水分多」では両イオンともに $86\sim 91 \text{ mmolc L}^{-1}$ ， $\text{NO}_3^-$   $84\sim 86 \text{ mmolc L}^{-1}$ であった。なお，「水分中」では，N標準とN2倍，N2倍とN3倍における土壤溶液中イオン濃度の最高値の差はそれぞれ $25 \text{ mmolc L}^{-1}$ ， $50 \text{ mmolc L}^{-1}$ 程度であった。

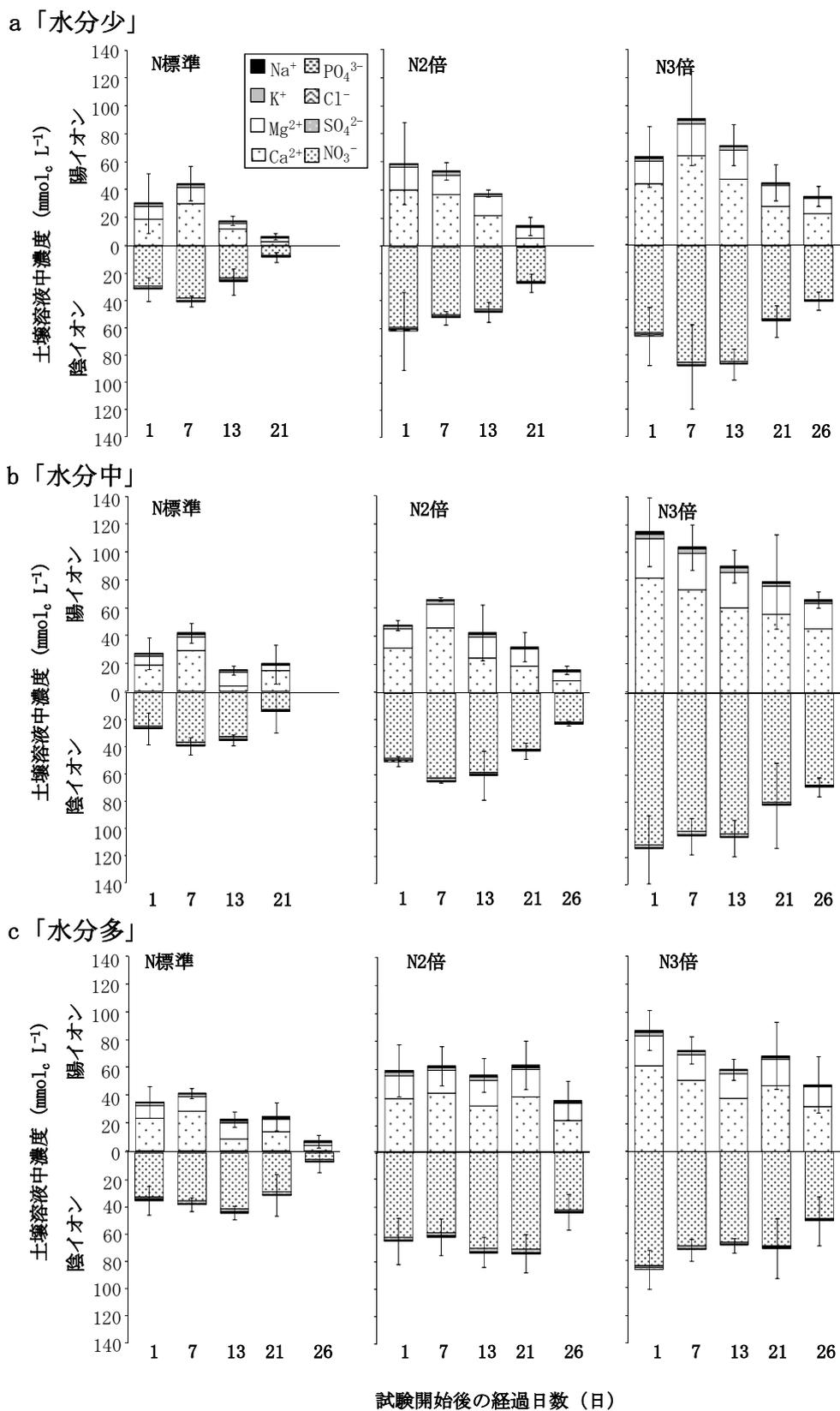


図 2.4 土壌溶液中各イオン濃度の推移 (n=3)

### 2.3.4 栽培終了時の土壌化学性

ナス栽培前後の土壌化学性を比較すると、どの処理区でもpHはやや増加し、ECおよびNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nは減少した(表2.2, 2.7, 2.8)。一方、可給態Pや交換性陽イオンには明確な変化が認められなかった。栽培後の土壌をみると、可給態Pと交換性Na以外では、土壌水分処理による有意差がみられた( $p < 0.05$ , 表2.7)。また、可給態P以外では、硝酸態窒素含有量による有意差があった( $p < 0.05$ , 表2.8)。pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 交換性Ca, Naでは、土壌水分と硝酸態窒素含有量の交互作用が認められた( $p < 0.05$ )。土壌水分が多く、硝酸態窒素含有量が少ないほどpHは有意に高く、ECは有意に低く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nは有意に少なかった( $p < 0.05$ )。また、交換性K, Ca, Mg, Naには有意差が認められたものの、処理間差の最大値はそれぞれ4.8 mmolc kg乾土<sup>-1</sup>, 33 mmolc kg乾土<sup>-1</sup>, 3.9 mmolc kg乾土<sup>-1</sup>, 0.2 mmolc kg乾土<sup>-1</sup>であった。

表2.7 同一硝酸態窒素含有量で土壌水分が異なる条件における栽培終了時の土壌化学性 (n=3)

処理	pH	EC dS m <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	可給態 P	交換性				
					K	Ca	Mg	Na	
					mmolc kg乾土 <sup>-1</sup>				
N標準	「水分少」	6.3 ± 0.1 b	0.62 ± 0.05 c	11.1 ± 1.7 a	161 ± 1.9 a	17.6 ± 1.3 a	280 ± 6.6 a	48.6 ± 1.8 a	1.1 ± 0.1 a
	「水分中」	6.6 ± 0.1 a	0.34 ± 0.04 b	4.0 ± 1.1 b	158 ± 5.8 a	14.7 ± 0.8 b	267 ± 4.6 a	47.0 ± 1.0 a	1.0 ± 0.0 a
	「水分多」	6.8 ± 0.1 a	0.21 ± 0.02 a	1.0 ± 0.6 b	159 ± 3.5 a	14.4 ± 0.4 b	247 ± 4.3 b	47.4 ± 0.7 a	1.2 ± 0.1 a
N2倍	「水分少」	6.1 ± 0.1 b	1.13 ± 0.08 a	22.9 ± 1.0 a	162 ± 2.4 a	18.2 ± 0.6 a	261 ± 5.3 a	49.8 ± 1.1 a	1.3 ± 0.0 a
	「水分中」	6.1 ± 0.0 ab	0.89 ± 0.08 b	19.0 ± 0.3 b	161 ± 2.1 a	15.9 ± 0.4 b	264 ± 9.5 a	48.1 ± 0.7 a	1.1 ± 0.1 b
	「水分多」	6.3 ± 0.0 a	0.74 ± 0.09 b	14.4 ± 1.3 c	160 ± 1.3 a	15.6 ± 0.8 b	253 ± 6.5 a	48.7 ± 0.3 a	1.1 ± 0.0 b
N3倍	「水分少」	5.9 ± 0.0 b	1.44 ± 0.10 ab	34.8 ± 1.6 a	160 ± 5.1 a	19.2 ± 0.7 a	250 ± 2.8 a	50.7 ± 0.5 ab	1.2 ± 0.1 a
	「水分中」	6.0 ± 0.0 b	1.46 ± 0.15 a	32.5 ± 1.6 a	167 ± 2.3 a	18.5 ± 0.8 a	255 ± 2.5 a	49.8 ± 0.3 b	1.3 ± 0.0 a
	「水分多」	6.1 ± 0.0 a	1.10 ± 0.17 b	24.2 ± 2.6 b	160 ± 4.6 a	16.5 ± 0.8 b	254 ± 3.1 a	51.0 ± 0.5 a	1.2 ± 0.1 a
分散分析	水分	**	**	**	n. s.	**	**	*	n. s.
	窒素	**	**	**	n. s.	**	**	**	*
	交互作用	**	n. s.	*	n. s.	n. s.	**	n. s.	**

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 土壌水分が同じで硝酸態窒素含有量が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した( $P < 0.05$ )。

注3) 表中の\*\*は1%水準、\*は5%水準で有意差があることを、n. s. は有意差がないことを示した。

注4) pHとECは新鮮土壌を用い、土壌：イオン交換水=1：2で測定した。

表2.8 同一土壌水分で硝酸態窒素含有量が異なる条件における栽培終了時の土壌化学性 (n=3)

処理	pH	EC dS m <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		可給態 P	交換性				
			K	Ca		Mg	Na	mmolc kg乾土 <sup>-1</sup>		
「水分少」N標準	6.3 ± 0.1 a	0.62 ± 0.05 c	11.1 ± 1.7 c	161 ± 1.9 a	17.6 ± 1.3 a	280 ± 6.6 a	48.6 ± 1.8 a	1.1 ± 0.1 a		
「水分少」N2倍	6.1 ± 0.1 b	1.13 ± 0.08 b	22.9 ± 1.0 b	162 ± 2.4 a	18.2 ± 0.6 a	261 ± 5.3 b	49.8 ± 1.1 a	1.3 ± 0.0 a		
「水分少」N3倍	5.9 ± 0.0 c	1.44 ± 0.10 a	34.8 ± 1.6 a	160 ± 5.1 a	19.2 ± 0.7 a	250 ± 2.8 b	50.7 ± 0.5 a	1.2 ± 0.1 a		
「水分中」N標準	6.6 ± 0.1 a	0.34 ± 0.04 c	4.0 ± 1.1 c	158 ± 5.8 a	14.7 ± 0.8 b	267 ± 4.6 a	47.0 ± 1.0 b	1.0 ± 0.0 b		
「水分中」N2倍	6.1 ± 0.0 b	0.89 ± 0.08 b	19.0 ± 0.3 b	161 ± 2.1 a	15.9 ± 0.4 b	264 ± 9.5 a	48.1 ± 0.7 ab	1.1 ± 0.1 b		
「水分中」N3倍	6.0 ± 0.0 c	1.46 ± 0.15 a	32.5 ± 1.6 a	167 ± 2.3 a	18.5 ± 0.8 a	255 ± 2.5 a	49.8 ± 0.3 a	1.3 ± 0.0 a		
「水分多」N標準	6.8 ± 0.1 a	0.21 ± 0.02 c	1.0 ± 0.6 c	159 ± 3.5 a	14.4 ± 0.4 ab	247 ± 4.3 a	47.4 ± 0.7 b	1.2 ± 0.1 a		
「水分多」N2倍	6.3 ± 0.0 b	0.74 ± 0.09 b	14.4 ± 1.3 b	160 ± 1.3 a	15.6 ± 0.8 b	253 ± 6.5 a	48.7 ± 0.3 b	1.1 ± 0.0 a		
「水分多」N3倍	6.1 ± 0.0 c	1.10 ± 0.17 a	24.2 ± 2.6 a	160 ± 4.6 a	16.5 ± 0.8 a	254 ± 3.1 a	51.0 ± 0.5 a	1.2 ± 0.1 a		
分散分析	**	**	**	n. s.	**	**	*	n. s.		
窒素	**	**	**	n. s.	**	**	**	*		
交互作用	**	n. s.	*	n. s.	n. s.	**	**	n. s.	**	**

注1) 値は、平均値±標準偏差で示した。

注2) 土壌水分が同じで硝酸態窒素含有量が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットを付した (P < 0.05)。

注3) 表中の\*\*は1%水準、\*は5%水準で有意差があることを、n. s. は有意差がないことを示した。

注4) pHとECは新鮮土壌を用い、土壌：イオン交換水=1：2で測定した。

## 2.4 考察

ナスの台木品種「台太郎」は、「水分多」で草丈、葉数、莖径の生育が最も良く、地上部と根の乾物重が大きかった (表2.3)。ナスはトマトやピーマンと比べると土壌水分の影響を受けやすく、水分が少ないと蒸散速度とみかけの同化量が減少して生育が阻害され、水分が多いと生育が促進される (鐘・加藤, 1988)。これは、今回の結果と一致する。

「水分少」では、水分ストレスが原因で生育不良となり、硝酸態窒素含有量による草丈、葉数、莖径、地上部と根の乾物重に差は認められなかった (表2.3, 2.4)。「水分中」では、N3倍の草丈、葉数、莖径の生育、地上部と根の乾物重がN標準より大きく劣った (表2.4)。一方「水分多」では、N2倍やN3倍で草丈、莖径の生育、地上部と根の乾物重は劣ったものの、N標準との差は小さかった (表2.4)。土壌水分が多いと土壌溶液の塩類濃度が低くなり (和田ら, 1994)、土壌溶液の塩類濃度が低いほど土壌溶液の浸透圧は低下する (亀和田, 1991)。このため、コマツナ種子では吸水が促進されて発芽率が上がる (藤原ら, 2015)。逆に、培養液濃度が高いと、細根の呼吸阻害が誘発されて窒素代謝阻害が起こる (加藤・鐘, 1987b)。N標準における土壌溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の最大値は、「水分中」で37 mmolc L<sup>-1</sup>、「水分多」で41 mmolc L<sup>-1</sup>であった (図2.4)。このことから、本試験の土壌水分条件では、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が37 mmolc L<sup>-1</sup>以下であればナス台木の生育に影響がないと思われる。加藤・鐘 (1987a) は、培養液中の無機態窒素濃度が14.3 mmolc L<sup>-1</sup>以上でナスの生育が抑制される

ことを報告した。培養液の窒素成分は25%がアンモニア態であり、培養液濃度を標準の4倍とした際に $\text{NH}_4^+$ 濃度が $20.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ と高いことが影響した可能性がある(加藤・鐘, 1987b)。

本試験において、N3倍とN標準の地上部乾物重の差は「水分中」で「水分多」より大きく(表2.4)、その差は、加藤・鐘(1987b)がナス栽培時の培養液濃度を標準の4倍とした際の結果と同様であった。このため、本試験では土壤溶液中の $\text{NO}_3^-$ 濃度が「水分中」で「水分多」より高く推移したことが(図2.4)、ナスの地上部および根の乾物重が小さく、草丈、茎径が劣った原因と思われる。

本試験では、「水分中」と「水分多」のN3倍では、N標準と比べてNa以外の養分含有量が増加した(表2.6)。加藤・鐘(1987b)が培養液濃度を標準の4倍とした際のナスの葉中養分含有量の増加量は、Nでは $4.5 \text{ g kg}^{-1}$ 、Pでは $1.3 \text{ g kg}^{-1}$ 、Kは $7.3 \text{ g kg}^{-1}$ であり、Nでは本試験と同程度、PとKでは本試験の方が高かった。またCaとMgは、加藤・鐘(1987b)では減少したのに対し、本試験では増加し、特に「水分多」のCaで大きく増加した(表2.6)。この違いは、本試験では硝酸態窒素が主な窒素源であったことや、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の高い土壤溶液をナスが吸収したことが原因と考えられる。Yanai *et al.* (1998)は、土壤溶液中の $\text{NO}_3^-$ 量の増加に伴って土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 量が増加することを示した。本試験では、塩類集積土壤に硝酸を添加したことで $\text{Ca}^{2+}$ や $\text{Mg}^{2+}$ の交換溶出量が増加し、ナスによる吸収量に違いが認められたと思われる。しかしながら、ナスのCa過剰障害はCa含有量が $30 \text{ g kg}^{-1}$ でも認められない(田中ら, 1973)ことから、今回のCa含有量の増加は生育悪化に直接的な影響を及ぼさなかったと思われる。

栽培前後の土壤化学性を比較すると、pHは微増し、ECはやや減少したが、いずれもナスの生育に影響を与える範囲にはなかった(高知県農業技術センター・農業技術課, 2005b, 高知県農業技術センター・農業技術課, 2005e)。また、可給態Pや交換性塩基には栽培前後の変化はみられなかった。栽培終了後の土壤についてみると、 $\text{NO}_3^-$ 含有量は「水分多」で最も低かった(表2.7)。ナスの生育は「水分多」で最も旺盛であったことから(表2.3)、栽

培前後の $\text{NO}_3^-$ 含有量の違いはナスの窒素吸収によるものと考えられる。また、土壤溶液の $\text{NO}_3^-$ 濃度の増加に伴って $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 濃度は増加したが、ナス養分含有量の差は小さかった。これは供試土壤に交換性塩基が十分存在していたためと考えられる。

以上より、作付け前の土壤中に硝酸態窒素が多く残存している場合、ナスの初期成育への影響を緩和するためには、土壤水分を高め、土壤溶液の $\text{NO}_3^-$ 濃度を $37 \text{ mmolc L}^{-1}$ 以下とすることが有効と考えられた。

## 2.5 要約

高知県の施設ナス圃場では塩類集積が進行している。本研究では、塩類集積圃場で窒素を施肥した際のナスの生育と、生育阻害を緩和する土壤水分状態を明らかにするために、ポット試験において、硝酸態窒素含有量と土壤水分量を違えた場合にナス台木の初期生育に及ぼす影響を明らかにした。

ナス台木の草丈、葉数、莖径、地上部および根乾物重は土壤水分が多いほど優れた。また、硝酸態窒素含有量が少ないほど草丈は長かった。莖径と地上部乾物重では、硝酸態窒素含有量と土壤水分の交互作用が認められた。土壤水分が少なく、硝酸態窒素含有量が高濃度であるほど、莖径と地上部乾物重は劣った。これは、硝酸態窒素含有量が多い土壤では、土壤溶液の $\text{NO}_3^-$ 濃度が高まり、窒素代謝阻害が起こるためと考えられる。本試験条件では、土壤水分を高め、土壤溶液の $\text{NO}_3^-$ 濃度を $37 \text{ mmolc L}^{-1}$ 以下とすることで、生育阻害が緩和されることが明らかとなった。

## 引用文献

土壤環境分析法編集委員会編 1997. 土壤環境分析法, p.208-216. 博友社, 東京.

土壤標準分析・測定法委員会編 1986a. 土壤標準分析・測定法, p.38-46. 博友社, 東京.

土壤標準分析・測定法委員会編 1986b. 土壤標準分析・測定法, p.127-130. 博友社, 東

京.

藤原宏子・荒木有朋・赤井直彦・衣笠雄一 2015. 塩類集積圃場における日射制御型拍動自動かん水装置を用いた土壌水分管理によるコマツナの発芽障害の軽減, 岡山県農業研報, **6**, 49-54.

速水悠・前田守弘 2017. 日射比例およびタイマー制御灌水が促成ナスの根と養分の畝内分布に及ぼす影響, 土肥誌, **88**, 435-440.

位田藤久太郎・橘昌司・藤城好信・丸山靖志 1971. 被覆下栽培における肥培の研究(第2報) そ菜の塩類高濃度障害について(2) 多肥培地における果菜の生育とその無機栄養, 園学雑, **40**, 121-127.

亀和田國彦 1991. 土壌溶液イオン組成からの EC の推定とアニオン種の違いが EC および浸透圧に及ぼす影響, 土肥誌, **62**, 634-640.

加藤徹・鐘鈴峰 1987a. ナス科果菜の比較生理生態的研究(第1報) 培養液濃度が生長, みかけの同化量, 葉の蒸散作用および根の呼吸に及ぼす影響, 生物環境調節, **25**, 7-12.

加藤徹・鐘鈴峰 1987b. ナス科果菜の比較生理生態的研究(第2報) 培養液濃度が養水分吸収に及ぼす影響, 生物環境調節, **25**, 47-55.

高知県園芸農業協同組合連合会編 1990. 園芸の手引き-野菜編-改訂版, P. 98. 高知県.

高知県環境農業推進課 2010. 高知県施肥基準, P. 19-20. 高知県.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005a. 分析測定診断テキスト診断の手引き-第6次改訂増補版-, p. 150. 高知県.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005b. 分析測定診断テキスト診断の手引き-第6次改訂増補版-, p. 33. 高知県.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005c. 分析測定診断テキスト分析の手引き-第6次改訂増補版-, p. 102. 高知県.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005d. 分析測定診断テキスト分析の手引き-第6

- 次改訂増補版-, p. 33. 高知県.
- 高知県農業技術センター・農業技術課 2005e. 分析測定診断テキスト診断の手引き-第6次改訂増補版-, p. 42. 高知県.
- 楼恵寧・加藤徹 1987. ナス・ピーマンの育苗とその生産力に関する研究(第4報) ナスにおける育苗期の土壤水分の影響, 生物環境調節, **25**, 57-61.
- 門馬信二・赤澤茂樹・下坂欽也・坂田好輝・松永啓 1997. 青枯病・半青枯病複合抵抗性台木用ナス品種‘台太郎’の育成経過とその特性, 野菜・茶業試験場研究報告, **12**, 73-83.
- 農耕地土壤分類委員会 1995. 農耕地土壤分類第3次改訂版, p. 35. 農林水産省農業環境技術研究所.
- 作物分析法委員会編 1975. 栄養診断のための栽培作物分析測定法, p. 69-70. 養賢堂, 東京.
- 宍戸良洋・張小路・熊倉裕史 1995. ナスの接ぎ木における台木の品種, 葉および台木の性状が穂木の生育に及ぼす影響, 園学雑, **64**, 581-588.
- 田中明・但野利秋・山田三樹夫 1973. 塩基適応性の作物種間差(第1報) カルシウム適応性-比較植物栄養に関する研究-, 土肥誌, **44**, 334-339.
- 山崎浩司・徳橋伸 1989. 接木ナス栽培における台木の種類と生理障害, 高知農林研報, **21**, 47-53.
- Yanai, J. Robinson, D., Young, I. M., Kyuma, K., Kosaki, T. 1998. Effects of the chemical form of inorganic nitrogen fertilizers on the dynamics of the soil solution composition and on nutrient uptake by wheat, *Plant soil*, **202**, 263-270.
- 鐘鈴峰・加藤徹 1988. ナス科果菜の生育及び収量に及ぼす土壤水分の影響, 高知大学研報, **37**, 51-59.
- 和田信一郎・角藤やす子・小田原孝治・吉村秀磨 1994. 7点の施設土壌における水分含有量の変化に伴う土壤溶液イオン組成の変化, 土肥誌, **65**, 530-537.

## 第3章

### 少量多頻度灌水が促成ナスの根と養分の畝内分布の推移に及ぼす影響

#### 3.1 概説

高知県の主要な園芸作物であるナスの施設栽培圃場では塩類集積が進行している（速水・前田，2017）．しかし，ナス栽培現場では，休閑期に湛水やクリーニングクロープで十分除塩ができるほどの期間が設けられず，除塩されていない（速水・前田，2018）．土壌のECが高い状態で定植前に苦土石灰や複合肥料が施用されるため，塩類集積のさらなる進行と，ナスの初期生育の阻害が懸念される．塩類集積土壌において，硝酸態窒素含有量が多いほどナス台木の生育が阻害されるが，土壌水分をpF1.7に維持することでその影響が軽減される（速水・前田，2018）．土壌水分を高く維持する灌水方法として，養液土耕栽培での少量多頻度灌水や日射制御灌水があげられる．1回当たりの灌水量を土壌が飽和状態にならない程度に抑えると，垂直方向の水の流れが減り，水平方向に分散される（Mori *et al.*，2012）．そのため，少量多頻度灌水や日射比例制御灌水では，畝内に水分が保持されやすい．また，日射量と植物の養水分吸収量には高い相関関係があることから，日射比例制御灌水は作物の養水分要求量に応じた給液管理が可能である（千葉大学園芸学部，2006）．日射比例制御の多頻度灌水では，畝内の根が多く分布する位置とナスが吸収する硝酸態窒素や交換性塩基が少ない位置が一致し，ナスに養水分が利用されやすい灌水方法であった（速水・前田，2018）．一方，多頻度灌水であっても，1回当たりの灌水量が多いと水の下方向浸透量が増え，養分が溶脱しやすかった（速水・前田，2018）．しかし，調査圃場の土壌のCECが低く，土壌養分が保持されにくかったことが溶脱を助長した可能性があった．日射比例制御灌水は，日射計や給液制御装置，給液タンク，給液装置，灌水チューブ，給液プログラムなどの準備が必要であり（千葉大学園芸学部，2006），生産現場からは，コストが高く導入できないという意見がある．一方，タイマー制御灌水は，給液制御装置，給液タンク

および灌水チューブがあれば、少量多頻度灌水ができるため、日射比例制御灌水と比べ、導入コストをおさえることができる。そこで本研究では、タイマー制御の少量多頻度灌水における促成ナスの細根と土壌養分の畝内分布の推移を明らかにし、同一圃場における1日1回灌水での調査結果と比較することで、畝内の養水分が有効利用できる灌水方法であるかを評価する。

### 3.2 材料および方法

#### 3.2.1 調査圃場および耕種概要

高知県南国市の促成栽培ナス栽培圃場で根の調査と土壌採取を行った。土壌の種類は普通灰色低地土（農耕地土壌分類第3次改訂版，1995），土性はCLであった。供試土壌の化学性は表3.1に，物理性は表3.2に示した。有機質資材は8月18日にバーク堆肥を3 kg m<sup>-2</sup>施用した。基肥は8月19日に施用した。追肥は10月28日より施用を開始した。施肥量は表3.3に示し，両処理区とも同様とした。

ナスの定植日は2015年9月1日であり，品種は，穂木は‘竜馬’，台木は‘トナシム’とした。株間は55 cm，畝幅は170 cm，栽植密度は1.07 株 m<sup>-2</sup>，畝の高さは20 cmであった。収穫は10月8日より開始し，栽培終了日の2016年5月16日まで継続した。白マルチ（白黒こかげマルチ，大倉工業株式会社）を10月27日から畝の全面に被覆した。

表 3.1 供試土壌の化学性

pH	EC dS m <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	K	Ca	Mg	Na	CEC	塩基飽和度
									cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
6.2	0.87	0.23	0.98	0.37	14.9	3.3	0.18	21.0	89

注) K, Ca, Mg, Na は酢酸アンモニウム抽出。

表 3.2 供試土壌の物理性

採取位置 (深さ)	固相率*	液相率*	気相率*	孔隙率*	易有効水分	仮比重 kg m <sup>-3</sup>
0-10cm	40.8	36.1	23.1	59.2	12.3	1,100
10-20cm	39.8	30.5	29.7	60.2	4.4	1,000
20-30cm	50.5	35.5	14.0	49.5	9.1	1,300

\* pF1.5 の値

表 3.3 施肥量 (g m<sup>-2</sup>)

銘柄		N	P	K
基肥	園芸王国エコ	25.0	12.5	11.9
追肥	トミーブラック	25.5	4.5	12.7
合計		50.5	16.9	24.6

### 3.2.2 試験区の灌水処理

灌水方法の異なる 2 処理区，多頻度区と 1 回区を設けた。多頻度区では，タイマー制御により毎日 8 時，9 時 30 分，11 時，13 時の計 4 回，1 回あたりを 0.52~0.60 mL 株<sup>-1</sup> として灌水した。1 回区では，毎日 8 時に，2.0~2.4 L 株<sup>-1</sup> を 1 回灌水した。灌水には点滴チューブ（点滴孔間隔 20 cm，ストリームライン 80，ネタフィルム社）を用い，株から 20 cm 離して両側に 1 本ずつ，1 畝当たり 2 本敷設した。1 株当たりの点滴孔数は 5.5 穴であった。

### 3.2.3 生育および収量調査

定植後 52 日目（10 月 23 日）には，第一主枝の長さ，節数，第 1 展開葉の葉色，第一分枝直下の莖径を各区 5 株ずつ測定した。栽培終了時日（5 月 16 日）には，第一主枝の長さ，第一分枝直下の莖径を，多頻度区では 5 株，1 回区では 4 株ずつ調査した。収穫は 10 月 8 日から週 3 回，栽培終了時日まで行った。収量調査対象株数は，多頻度区では 5 株，1 回区では 4 株とした。

### 3.2.4 根量調査方法および採土方法

根の調査と土壌採取は、各区3回ずつ行った。多頻度区では定植後55日(10月26日)、195日(3月15日)、258日(5月17日)、1回区では定植後55日、194日(3月14日)、257日(5月16日)であった。各処理区ともにハウス中央部の畝およびその隣の畝で行った。各畝から平均的な生育の株を1株ずつ選定した。定植後55日の調査では株元から28 cm離れた株間の中間付近から、株方向に14 cm毎に畝と垂直に畝断面を作成した(図3.1)。畝断面を、縦10 cm×横20 cmを1区画として、地表面から下方向に2区画(上層:0-10 cm深, 中層:10-20 cm深)、株元を中心として片側を通路方向に3区画の計6区画に区切った(図3.2)。畝中心を軸として線対称とみなし同じ距離の部分を反復とした。細根数は渡邊ら(2014)に準じて計測した。すなわち、畝断面の各区画に縦2 cm×横4 cmの窓を6個(2列×2段)開けた板をあて、観察窓から見える細根数を計測した。2反復で調査した。株位置から畝方向に同じ距離の断面を反復とした。細根数の計測後に各区画の土壌を14 cmの厚さで採取し、分析に供した。定植後194, 195, 257, 258日の調査では株元から25 cm離れた株間の中間付近から、株方向に10 cm毎に畝と垂直に畝断面を作成した(図3.3)。畝断面を、縦10 cm×横10 cmを1区画として、地表面から下方向に3区画(上層:0-10 cm深, 中層:10-20 cm深, 下層:20-30 cm深)、株元を中心として片側を通路方向に5区画の計15区画に区切った(図3.4)。細根数は定植後55日の調査と同様に行ったが、区画当たりの観察窓数は4個とした。2反復で調査した。株位置から畝方向に同じ距離の断面を反復とした。細根数の計測後に各区画の土壌を10 cmの厚さで採取し、分析に供した。

### 3.2.5 土壌試料調製および調査項目

採取した湿潤土壌は5 mmの篩に通し、EC(湿潤土壌80 gにイオン交換水100 mL, 乾土換算で約1:2, 高知県農業技術センター・農業技術課, 2005), 重量含水率を測定した(ECはTOA DKK CM-60Sを使用)。また, 湿潤土壌30 gに1.3 mol L<sup>-1</sup>塩化カリウム水溶液を100 mL

加えて振とう抽出し、硝酸態窒素濃度をオートアナライザー (QuAatro 2-HR, Bltec) により測定した。湿潤土壌を風乾し、2 mmの篩に通した風乾土5 gに1 mol L<sup>-1</sup> 酢酸アンモニウムを100 mL加えて振とう抽出し (土壌環境分析法編集委員会編, 1997), 交換性K, Ca, Mg, Naの分析に供した。交換性K, Ca, Mgは原子吸光光度法, Naは炎光光度法 (いずれもSHIMADZU AA-7000を使用) で測定した。

### 3.2.6 統計処理

定植後 55 日の細根数および土壌測定値は、灌水処理ごとに、畝方向、通路方向、深さで三元配置分散分析を行った ( $P < 0.05$ ) 後、同一位置にある区画の 4 断面を平均し、深さと通路方向への距離が異なる条件について Tukey の HSD 検定による多重比較を行った ( $P < 0.05$ )。また、同一位置の区画について、灌水処理が異なる条件で Tukey の HSD 検定による多重比較を行った ( $P < 0.05$ )。定植後 194, 195 日および 257, 258 日の細根数、重量含水率、EC、硝酸態窒素、交換性塩基は、灌水処理ごとに、畝方向、通路方向、深さ間で三元配置分散分析を行った ( $P < 0.05$ ) 後、同一位置にある区画の 5 断面を平均し、通路方向に同じ距離で深さが異なる条件において Tukey の HSD 検定による多重比較を行った ( $P < 0.05$ )。また、同一位置の区画について、灌水処理が異なる条件で Tukey の HSD 検定による多重比較を行った ( $P < 0.05$ )。統計処理ソフトは R (Version 3.3.1, The R Foundation for Statistical Computing) を用いた。

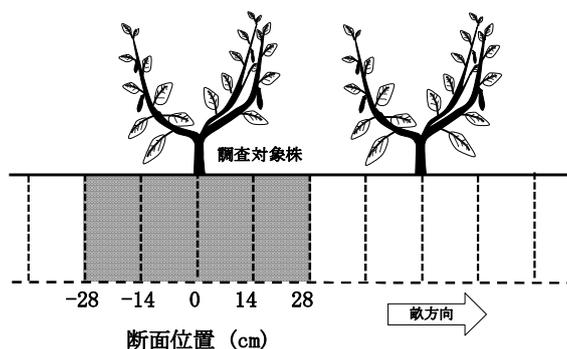


図 3.1 定植後 55 日 (10 月 26 日) 調査時に作成した畝断面位置の模式図

注) 畝内の着色した部分の土壌を採取した。

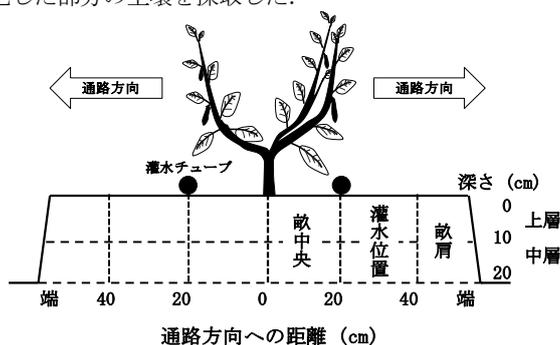


図 3.2 定植後 55 日 (10 月 26 日) 調査時の 畝断面における区画分けの模式図

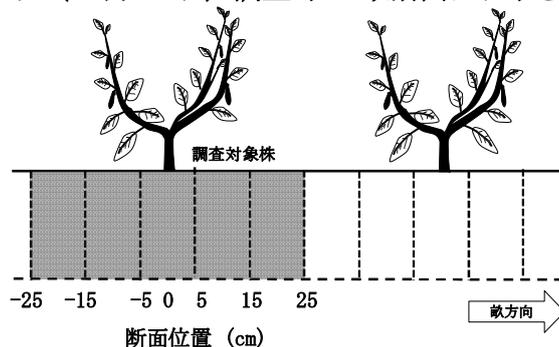


図 3.3 定植後 194, 195, 257, 258 日 (3 月および 5 月) の調査時に作成した畝断面位置の模式図

注) 畝内の着色した部分の土壌を採取した。

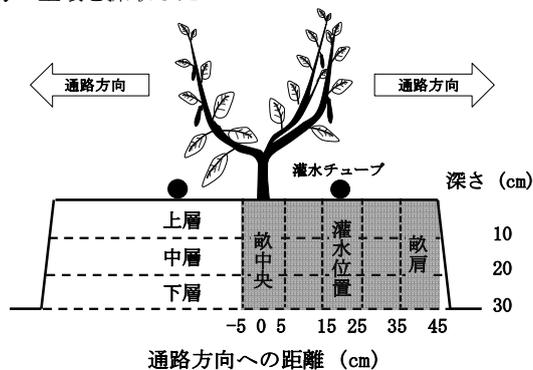


図 3.4 定植後 194, 195, 257, 258 日 (3 月および 5 月) の調査時の畝断面における区画分けの模式図

注) 畝内の着色した部分について、根の観察および土壌の採取を行った。

### 3.3 結果

#### 3.3.1 ナスの生育および収量調査

定植後 52 日の主枝長，葉数，葉色，茎径，栽培終了時の主枝長，茎径，総収量には，灌水方法での生育差が認められなかった（表 3.4，3.5）。

表 3.4 定植後 52 日の生育 (n=5)

処理	主枝長		葉数 <sup>注2)</sup>		葉色 <sup>注3)</sup>		茎径 <sup>注4)</sup>	
	cm		枚		SPAD		mm	
多頻度区	87.0	± 4.3	17.2	± 1.1	57.2	± 1.6	17.4	± 1.3
1回区	88.4	± 5.9	17.2	± 1.1	56.8	± 1.3	17.3	± 0.4

注1) 値は平均値±標準偏差で示した。

注2) 展開葉について計測した。

注3) 第一展開葉について計測した。

注4) 第一分枝直下で測定した。

表 3.5 栽培終了時の生育および総収量

処理	主枝長		茎径 <sup>注3)</sup>		総収量	
	cm		mm		kg m <sup>-2</sup>	
多頻度区	119.6	± 8.4	25.6	± 1.4	14.3	± 0.5
1回区	119.5	± 5.3	24.9	± 1.3	15.4	± 0.6

注1) 値は平均値±標準偏差で示した。

注2) 調査対象株数は，多頻度区では5株，1回区は4株とした。

注3) 第一分枝直下で測定した。

### 3.3.2 定植後 55 日 (10 月) の畝内分布

各処理区において、通路方向、深さでの二元配置分散分析をおこなった。多頻度区では、細根数、重量含水率、EC、硝酸態窒素、交換性 K, Ca, Mg に通路方向での有意差が認められた ( $p < 0.05$ , 図 3.5, 3.6)。また、重量含水率と EC では深さでの有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。1 回区では、重量含水率、EC、硝酸態窒素、交換性 K, Ca, Mg に通路方向での有意差があった ( $p < 0.05$ )。また、細根数、交換性 K, Ca に深さでの有意差があった ( $p < 0.05$ )。

細根数は、多頻度区では畝中央や灌水位置で畝肩より多く ( $p < 0.05$ )、1 回区と比べて畝中央や灌水位置の中層で有意に多かった ( $p < 0.05$ )。重量含水率は、両区ともに畝中央や灌水位置で畝肩より有意に高かった ( $p < 0.05$ , 図 3.5)。また、1 回区は多頻度区より畝中央の上層を除いて有意に高かった ( $p < 0.01$ )。EC および硝酸態窒素は、多頻度区では、畝肩や下層で高かったのに対し、1 回区では畝肩と畝中央の上層で高かった ( $p < 0.05$ , 図 3.5)。多頻度区は 1 回区より、畝中央や灌水位置の中層で高かった。交換性 K は、両区ともに畝肩で高く ( $p < 0.05$ , 図 3.6)、多頻度区と 1 回区は灌水位置の上層を除き同程度の含有量であった。交換性 Ca と Mg は、多頻度区では畝中央、畝肩、下層で高く、1 回区では畝肩、畝中央、灌水位置の順に高かった。多頻度区と 1 回区を比較すると、交換性 Ca は 1 回区で多頻度区より有意に高かった ( $p < 0.01$ )。交換性 Mg は、灌水位置の上層や畝肩の下層を除き、両処理区で差がなかった。

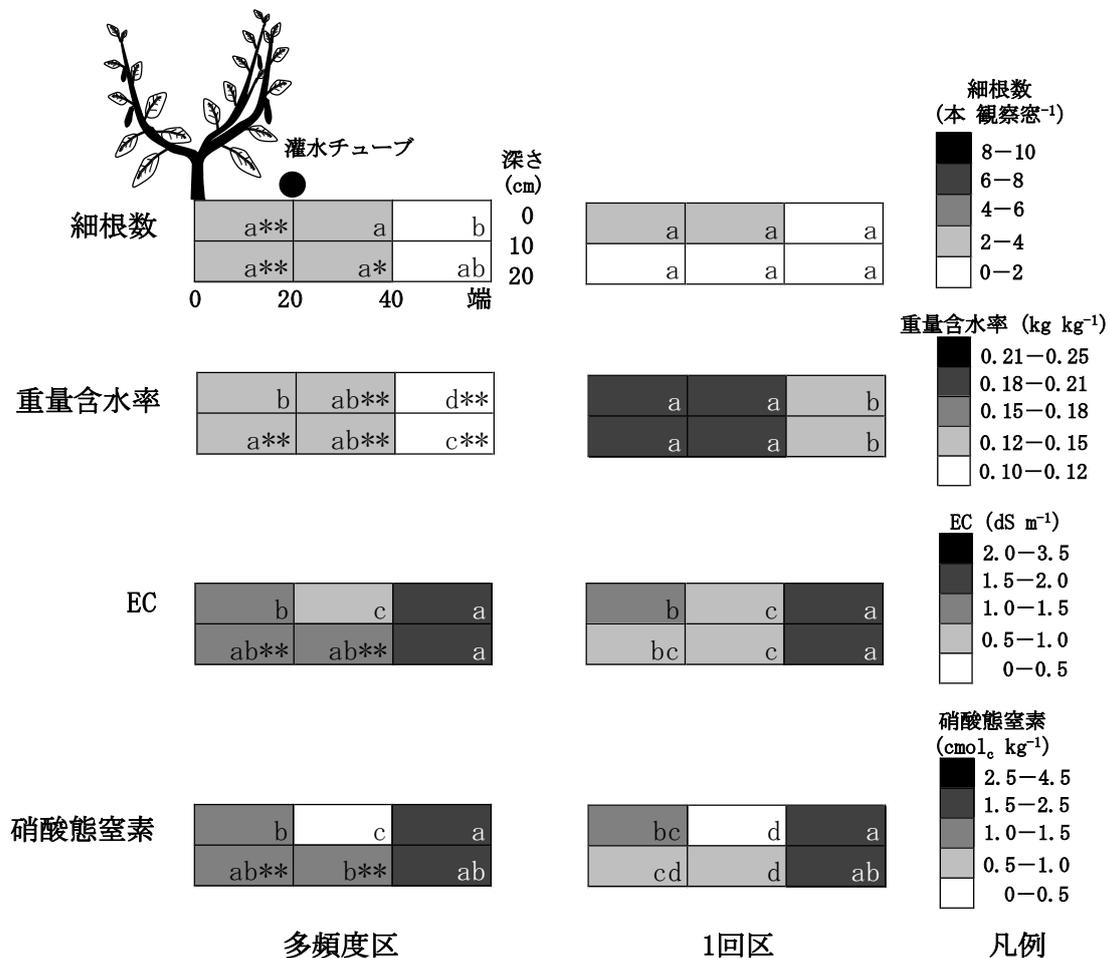


図 3.5 定植後 55 日 (10 月) の畝内細根数, 重量含水率, EC および硝酸態窒素

注 1) 値は同一位置にある区画の 4 断面の平均値とし, 深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合に異なるアルファベットで示す ( $P < 0.05$ ) .

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) .

注 3) 凡例は, 左の数値以上, 右の数値未満で示す.

注 4) EC は湿潤土壌 80 g に対しイオン交換水 100 mL (乾土換算で約 1 : 2) を加えて攪拌し測定した.

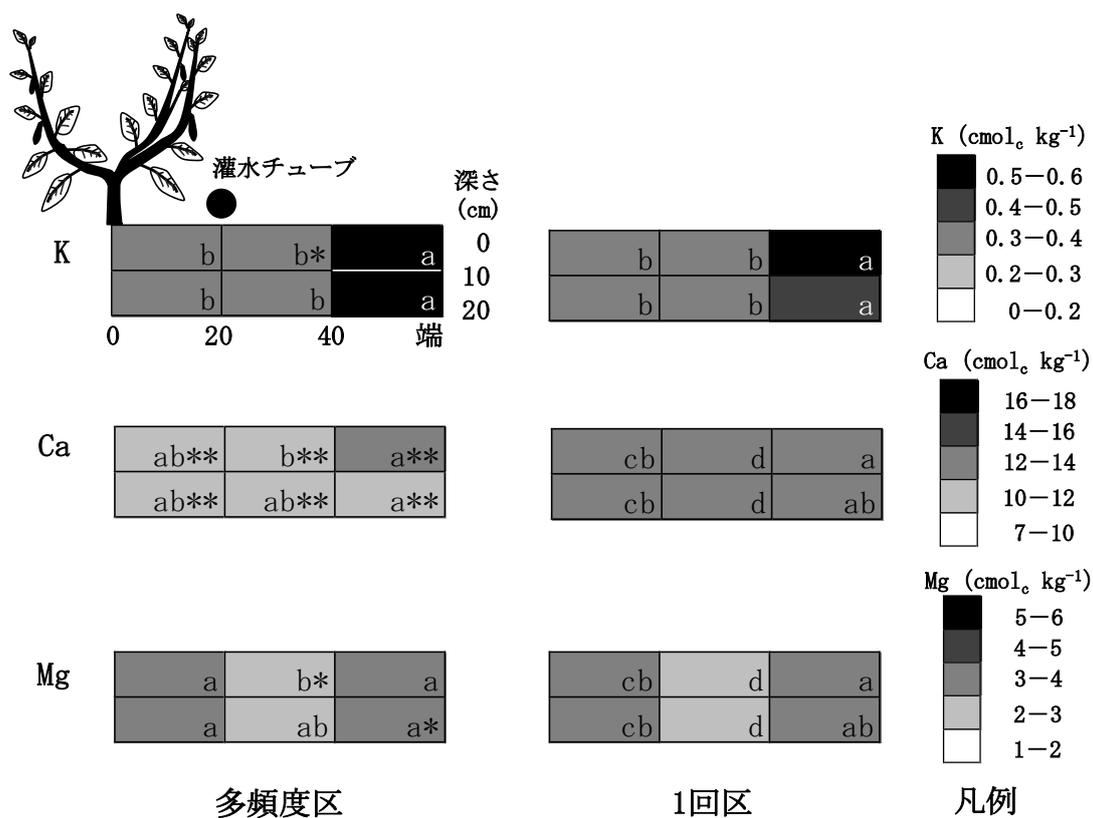


図 3.6 定植後 55 日 (10 月) の畝内交換性塩基の分布

注 1) 値は同一位置にある区画の 4 断面の平均値とし、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合に異なるアルファベットで示す ( $P < 0.05$ ) .

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) .

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す.

### 3.3.3 定植後 194, 195 日 (3 月) の畝内分布

細根数は、深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.7). 処理区毎に見ると、多頻度区では差がなく、1 回区では灌水位置や畝中央から 25-35 cm 位置の上層ほど有意に多かった ( $p < 0.05$ ). 重量含水率は、通路方向、深さ、灌水方法に有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.7). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で下層より有意に低かったが、1 回区では、灌水位置と畝肩を除き、上層が中、下層より有意に低かった ( $p < 0.05$ ). また、多頻度区は 1 回区より、上層や、通路方向の 5-25 cm 位置の中層、通路方向の 5-15cm の下層で有意に低かった ( $p < 0.05$ ). EC は、深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.7). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では畝中央の上層で中、下層より有意に高く、1 回区では、通路方向の 0-15 cm 位置と畝肩の上層で下層より有意に高かった ( $p < 0.05$ ). 硝酸態窒素は、通路方向と深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.7). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、両区ともに畝中央の上層で中・下層より有意に高かった ( $p < 0.05$ ). 交換性 K は、通路方向、深さ、灌水方法で有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.8). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で中・下層より高く、1 回区では通路方向の 0-25 cm の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ). また、多頻度区は 1 回区より、通路方向の 5-15 cm 位置の上層を除いて高かった. 交換性 Ca は深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.8). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では畝中央の上層で中・下層より高く、1 回区では、畝中央の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ). 交換性 Mg は、通路方向と深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.8). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で中・下層より高く、1 回区では、畝中央の上層で中・下層より高く、灌水位置の上層で下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ).

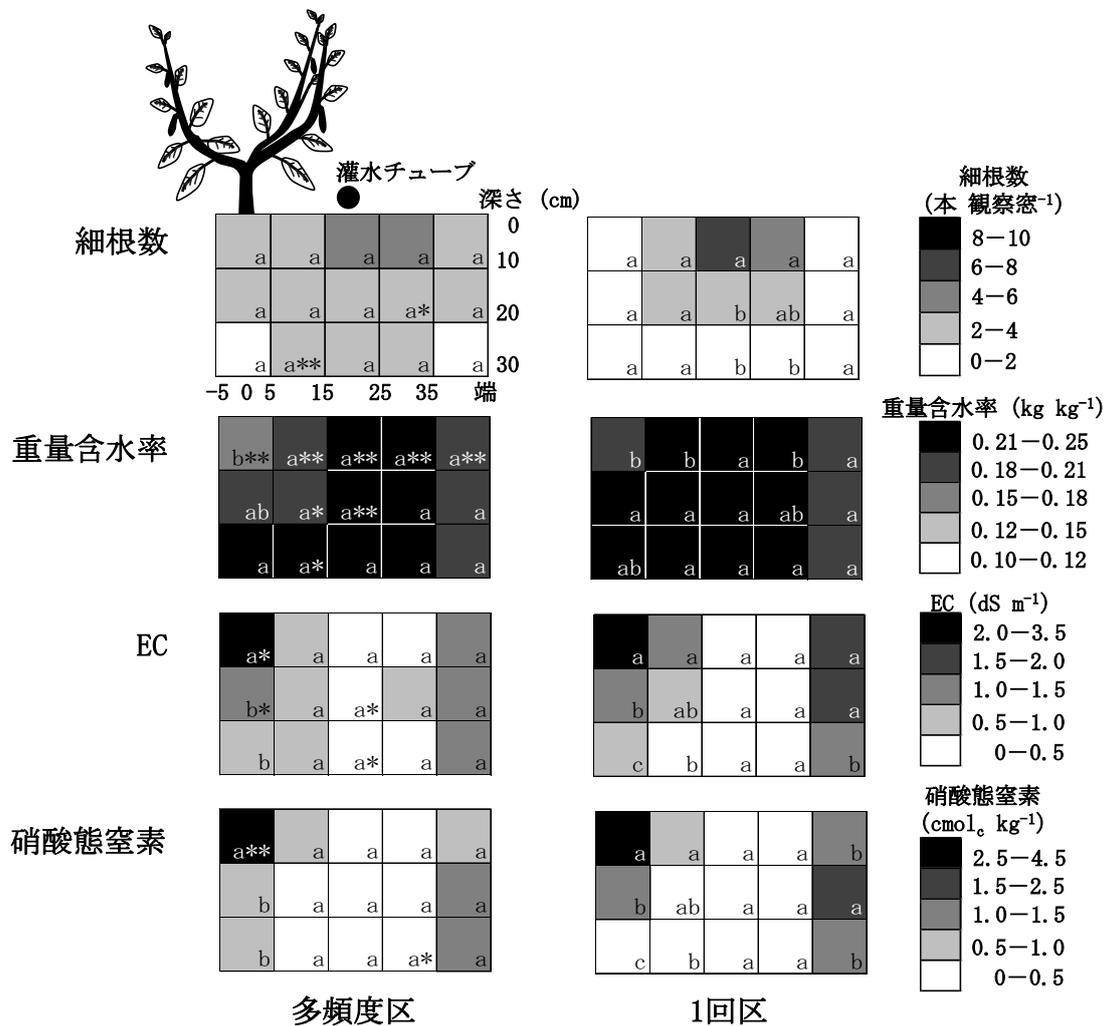


図 3.7 定植後 194, 195 日の畝内細根数, 重量含水率, EC および硝酸態窒素の分布

注 1) 値は同一位置にある区画の 5 断面の平均値とし, 同一の通路方向への距離における, 深さによる違いでの有意差を英小文字で示す ( $P < 0.05$ ) .

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) .

注 3) 凡例は, 左の数値以上, 右の数値未満で示す.

注 4) EC は湿潤土壌 80 g に対しイオン交換水 100 mL (乾土換算で約 1:2) を加えて攪拌し測定した.

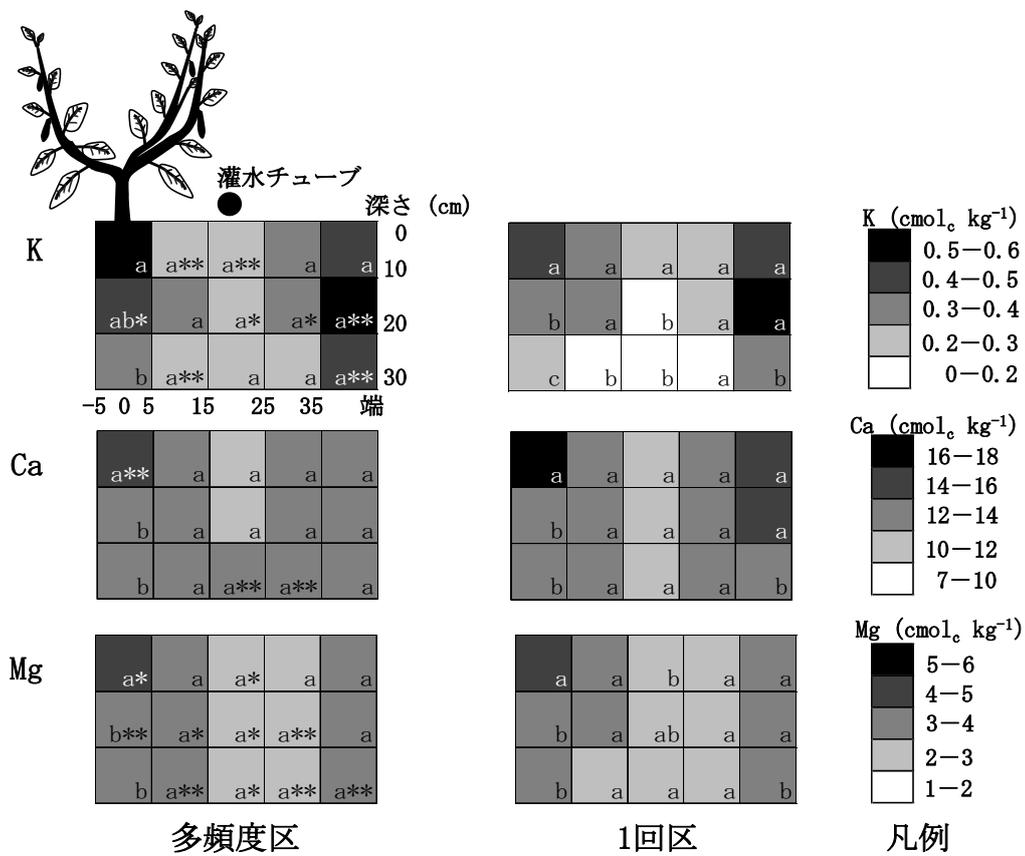


図 3.8 定植後 194, 195 日の畝内交換性塩基の分布

注 1) 値は同一位置にある区画の 5 断面の平均値とし、同一の通路方向への距離における、深さによる違いでの有意差を英小文字で示す ( $P < 0.05$ ) .

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) .

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す.

### 3.3.4 定植後 257, 258 日 (栽培終了時) の畝内分布

細根数は、深さと灌水方法で有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.9). 処理区毎に見ると、多頻度区では、畝肩を除く上層で下層より多く、1 回区では、畝中央と畝肩を除いた位置の上層で下層より低く、畝肩では、上・中層より下層で低かった ( $p < 0.05$ ).

重量含水率は、通路方向と灌水方法に有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.9). 多頻度区は 1 回区より、畝全体で高かった ( $p < 0.05$ ).

EC は、通路方向と深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.9). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では畝中央の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった. 1 回区では、通路方向の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ).

硝酸態窒素は、深さで有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.9). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で中・下層より高く、灌水位置の上層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ). 1 回区では、畝中央の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ).

交換性 K は、通路方向、深さ、灌水方法で有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.10). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、両処理区ともに、畝中央や灌水位置の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高かった ( $p < 0.05$ ). また、多頻度区は 1 回区より、中・下層で高かった. 交換性 Ca は、深さと灌水方法で有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.10). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で中・下層より高く、畝肩の上・中層で下層より高く、灌水位置の中・下層で上層より高かった ( $p < 0.05$ ). 1 回区では、畝中央を除き深さでの差がなかった. また、多頻度区は 1 回区より畝全体で高かった ( $p < 0.05$ ). 交換性 Mg は、通路方向、深さ、灌水方法で有意差があった ( $p < 0.05$ , 図 3.10). 同一の通路方向への距離における深さによる違いをみると、多頻度区では、畝中央の上層で中・下層より高く、

灌水位置の中・下層で上層より高かった ( $p < 0.05$ ). 1回区では, 畝中央を除き深さでの差がなかった. また, 多頻度区は1回区より, 畝中央や畝中央から 25 cm より端の部分の中・下層で高かった ( $p < 0.05$ ).

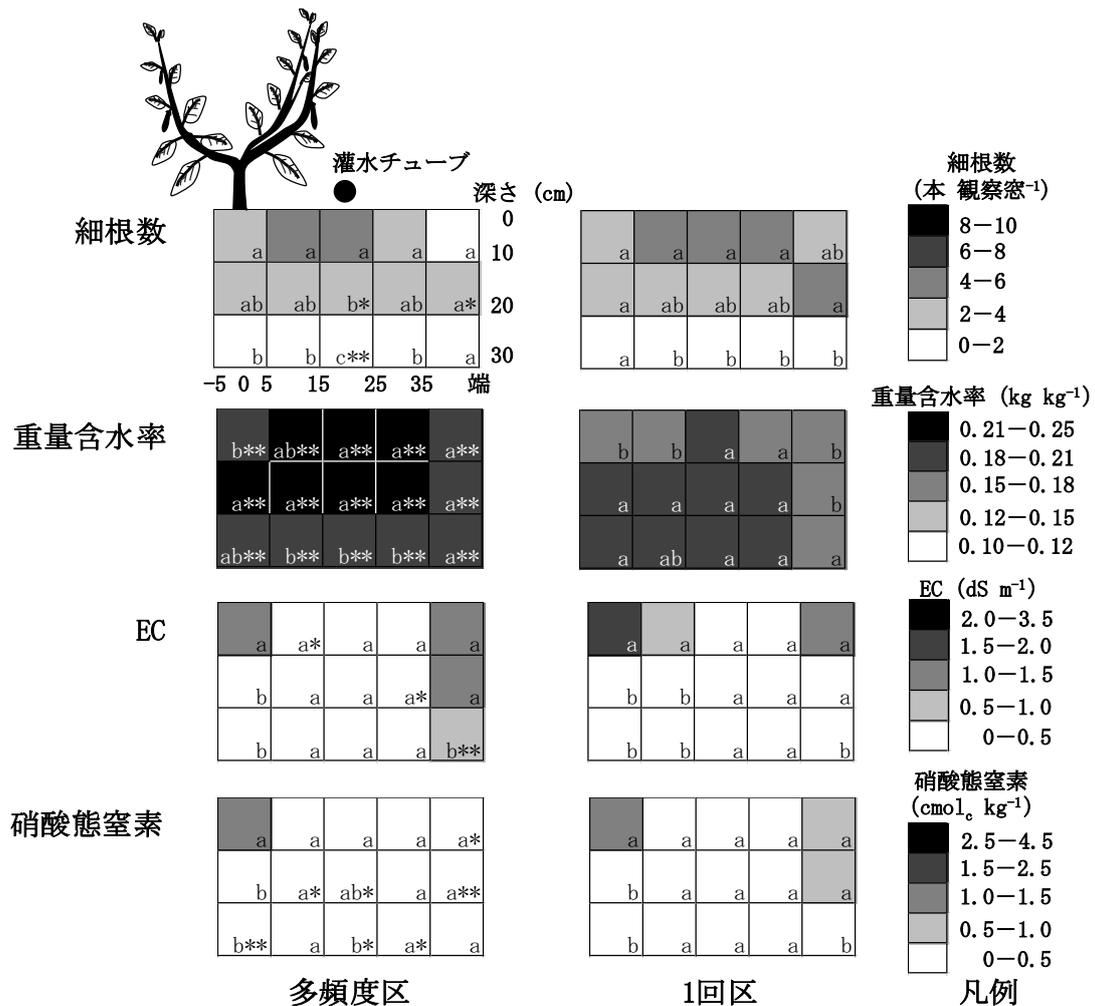


図 3.9 定植後 257, 258 日 (栽培終了時) の畝内細根数, 重量含水率, EC および硝酸態窒素の分布

注 1) 値は同一位置にある区画の 5 断面の平均値とし, 同一の通路方向への距離における, 深さによる違いでの有意差を英小文字で示す ( $P < 0.05$ ).

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ).

注 3) 凡例は, 左の数値以上, 右の数値未満で示す.

注 4) EC は湿潤土壌 80 g に対しイオン交換水 100 mL (乾土換算で約 1 : 2) を加えて攪拌し測定した.

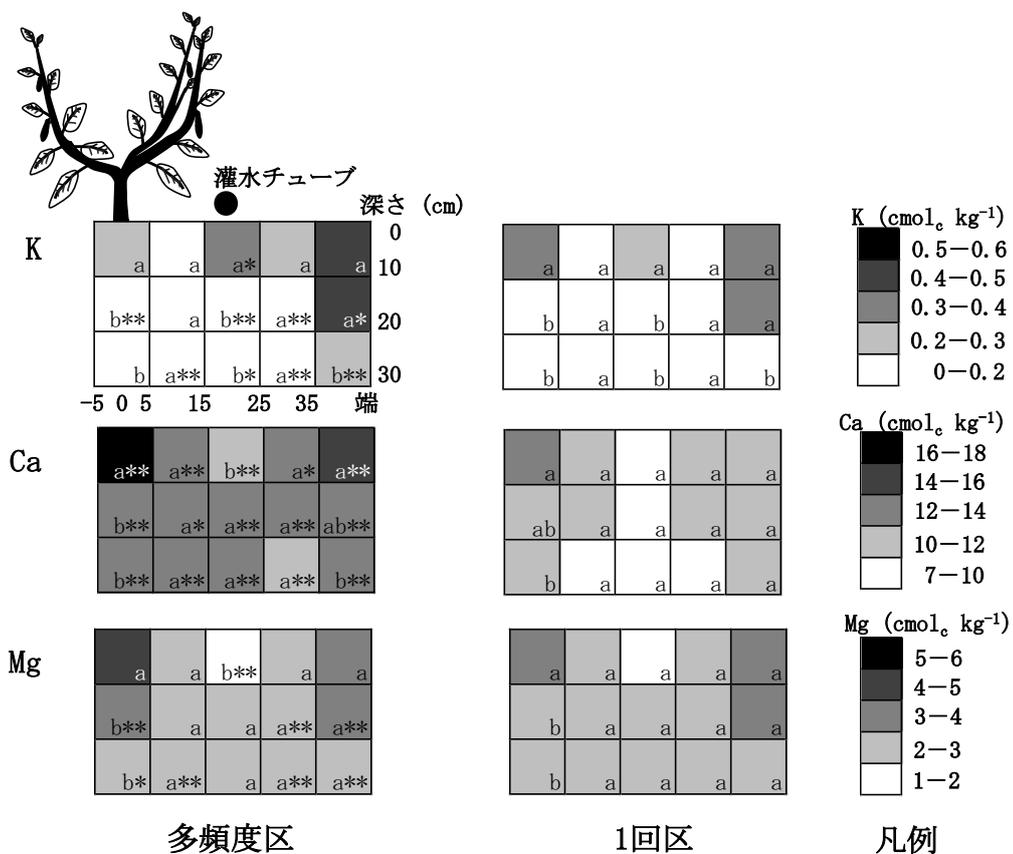


図 3.10 定植後 257, 258 日 (栽培終了時) の畝内交換性塩基の分布

注 1) 値は同一位置にある区画の 5 断面の平均値とし、同一の通路方向への距離における、深さによる違いでの有意差を英小文字で示す ( $P < 0.05$ ) .

注 2) \*および\*\*は同一区画での 1 回区との有意差を示す (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) .

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す.

### 3.4 考察

本試験では、ナスの細根は、定植後 55 日以降、両処理区とも灌水位置から水平方向に 20-25 cm の範囲に多く、ほぼ同様に分布した。定植後 55 日の多頻度区では、土壌含水率が低かったため、細根が深く伸長したと考えられる。作物の根は水分が豊富な土壌深層に根を伸ばすことにより水分ストレスを回避しようとする（根の辞典編集委員会編，1998）。そのため、畝内土壌が乾燥した多頻度区では、根は水を求めて深く伸長したと思われる。55 日以降は、マルチ被覆をしたことや、冬季になり蒸発散量が低下したことによって、畝全体の含水率が上がった。畝全体の含水率が上昇した 194 日以降は、灌水位置付近で細根の本数が増え、灌水方法の違いで分布に大きな違いが認められなくなったと考えられる。

少量多頻度灌水の場合では、湿潤土壌中を灌漑水が等方向的に拡大しやすい（中川ら，2002）。そのため、マルチ被覆をせず、蒸発散量が大きい定植後 55 日では、少量多頻度灌水が 1 回区と比べて畝内の含水率が低かったと考えられた。一方、灌水量が増えた 258 日後に少量多頻度灌水で畝内の含水率が 1 回区より高かったのは、1 回当たりの灌水量が少なく土壌が飽和状態にならなかったため、垂直方向の水の流れが減少し、水が畝内に留まりやすかったと思われる。

硝酸態窒素は水とともに移動しやすく、交換性  $K_2O$ 、 $CaO$ 、 $MgO$  と比べてもっとも溶脱しやすい（日本土壌肥料学会，1991）。しかし、本試験での N の施肥量は  $50 \text{ g m}^{-2}$  であり、満田ら（2004）が報告したナスの N 吸収量（ $43\sim 53 \text{ g m}^{-2}$ ）と同程度であった。そのため、定植後 258 日の畝内の硝酸態窒素含有量や EC が両処理区とも低くなったのは、ナスに積極的に吸収されたことが要因と思われる。

交換性塩基はいずれの要素も多頻度区の下層で 1 回区より高かった ( $p < 0.05$ )。ナス体内の含有量は、K、N、Ca、Mg の順に多い（山崎浩司・徳橋伸，1989）。K は追肥により供給されるが、糸川が報告した収量 1 t を生産するのに必要な K 吸収量（ $4.9 \text{ kg t}^{-1}$ ，2015）に、本試験での収量にかけて試算した K 吸収量（ $70\sim 75 \text{ kg } 10a^{-1}$ ）が施肥量を上回った。

そのため、灌水方法によらず、Kは畝内から吸収されて減少したと考えられる。一方、CaやMgは、ナスにより吸収されなかった分が多頻度区では水の下方浸透量が少なく畝内に残存したが、1回区では、水の下方浸透とともに下層以深へ移動したと考えられる。

今回の調査結果から、1回当たりの灌水量を少なくして多頻度に灌水することで、ナスの根域以深への養水分の移動を軽減できることが確認できた。今後は、作物への養分吸収効率や、下層以深への養水分移動を調査することで、多頻度灌水が畝内養分の有効利用が可能な灌水方法であるかを明らかにする必要がある。

### 3.5 要約

1日の灌水を4回に分割した少量多頻度灌水（多頻度区）と、1回で全量灌水する1回灌水（1回区）とで、促成ナスを栽培し、ナスの生育および収量と、細根および土壌養分の分布状態の推移を明らかにした。細根は、55日後の多頻度区では、灌水位置から水平方向に20 cm、深さ20 cmの範囲に伸長し、1回区より細根数が多かった。195日後と258日後の多頻度区では、灌水位置から水平方向に10 cm、深さ10 cmの範囲に多く分布し、細根数は1回区と同程度であった。また、55日後では、多頻度区が1回区より畝全体の土壌水分が低く、硝酸態窒素が畝内に残存した。そのため、少量多頻度灌水は、水が水平方向に広がりやすく、ナスに吸水されやすかったと考えられた。195日と258日後では、重量含水率は多頻度区が1回区より高く、交換性塩基は多頻度区で畝内に残存した。以上から、栽培が進むと、少量多頻度灌水では畝内に水分が保持されやすく、養水分の下方浸透が少ないことが示された。

### 引用文献

千葉大学園芸学部 2006. 日射比例型給液管理法を用いた溶液土耕栽培によるハウレンソウの硝酸イオン低減化マニュアル, 13-23.

- 土壤環境分析法編集委員会編 1997. 土壤環境分析法, 208-216. 博友社, 東京.
- 楼惠寧・加藤徹 1987. ナス・ピーマンの育苗とその生産力に関する研究 (第4報) ナスにおける育苗期の土壤水分の影響, 生物環境調節, **25**, 57-61.
- 満田幸恵・山本富三・荒木雅登 2005. 促成ナスの点滴かん水施肥(溶液土耕)栽培における生育および収量と窒素の動態. 土肥誌, **76**, 9-14.
- 中川進平・相場剋之・柏木淳一・鈴木信治 2002. 多孔ホースを用いたマイクロ灌漑による土壤水分動態. 土壤の物理性, **91**, 39-47.
- 根の辞典編集委員会編 1998. 根の辞典. 228-230, 朝倉書店, 東京.
- 日本土壤肥料学会編 1991. 塩類集積土壤と農業. 89-93. 博友社, 東京.
- 農耕地土壤分類委員会 1995. 農耕地土壤分類第3次改訂版, 35. 農林水産省農業環境技術研究所.
- 渡邊修一・笠原賢明・松森堅治・吉川弘恭 2014. 根の簡易調査法の提案と露地ナス圃場における調査事例. 土肥誌, **85**, 519-524.
- 山崎浩司・徳橋伸 1989. 接木ナス栽培における台木の種類と生理障害, 高知農林研報, **21**, 47-53.
- 野菜茶業研究所編. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 野菜茶業研究所, 三重
- Yasushi Mori, Atsushi Suetsugu, Yuko Matsumoto, Atsushi Fujihara, Kosuke Suyama. 2012. Enhancing bioremediation of oil-contaminated soils by controlling nutrient dispersion using dual characteristics of soil pore structure, Ecol. Eng., **51**, 237-243.

## 第4章

日射比例およびタイマー制御灌水が促成ナスの根と養分の畝内分布に及ぼす影響

### 4.1 概説

養液土耕栽培では、根域に直接灌水および施肥ができることから、全層施肥や散水チューブによる灌水と比べて養水分管理が容易であり、効率の良い施肥が可能である（六本木・加藤，2000）。つまり、土壌中の養水分含量を適正域で一定に保ちながら、必要な養水分を供給することで作物根の伸張を促すことができる。塩類集積が進行している施設栽培圃場に養液土耕栽培を導入することで、作物の生育と収穫に必要な量を土壌中に存在する養分を考慮して施肥をすることができ、さらなる塩類集積の回避と富化養分を活かした施肥管理が可能である（六本木・加藤，2000）。さらに、養液土耕栽培は少量多頻度灌水であるため、細根が伸張し、養水分が効率よく吸収されると期待できる（満田ら，2006）。一方、養液土耕栽培を導入することで効率的な養水分管理が可能な肥培管理方法として日射比例制御灌水が注目されている（篠原ら，2007）。日射比例制御灌水とは、一定の日射量が積算されるたびに自動で少量多頻度の給水と施肥を行う栽培管理方法である。日射量と植物の光合成や養水分吸収量との間には高い相関関係があるため、作物の養水分要求量に応じた給液管理が可能である（千葉大学園芸学部，2006）。

高知県の主要な作物である促成ナス栽培圃場では塩類集積が進行している。促成ナスの主要な産地である JA 土佐あき管内において、ナス・米ナス圃場の栽培終期に行った土壌調査の結果、631 戸の調査圃場のうち 527 戸で塩類集積が認められた（JA 全農高知，未発表）。生産現場では休閑期に湛水除塩を行っているが、塩基類は依然蓄積している。さらに近年定植時期が早まり、湛水期間が短くなる傾向があるため、除塩が不十分な状態でナスを定植した場合に生育への影響が懸念される。一方、促成ナス栽培地域では灌水や施肥の省力化・効率化を図るため、点滴灌水チューブや日射比例制御灌水の導入が進んでいる。塩類

集積土壌に日射比例制御灌水を導入した場合の根と土壌養分の関係が明らかになれば、蓄積養分の有効利用や養分吸収阻害の回避につながることを期待できる。しかしながら、日射比例制御灌水の促成ナス栽培現場において、根の発達状態と土壌養分の分布状態を報告した例はない。そこで本報告では、日射比例制御灌水およびタイマー制御灌水を行っている促成ナスの実農家2圃場における根および養分分布状態を明らかにする。

## 4.2. 材料及び方法

### 4.2.1 調査圃場の概要

高知県安芸市、安芸郡芸西村の2カ所の促成栽培ナス農家圃場で根の調査と土壌採取を行った。

安芸市圃場（以下、圃場Aとする）は細粒灰色低地土、土性はCL、調査時に畝全体から採取した深さ20 cmまでの土壌CECは $27.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ であった。日射比例制御による点滴灌水（450 mL/株/回を晴天日の8時～15時半に1日3～10回）を利用し、灌水チューブ（点滴孔間隔20 cm、てんすい、土佐農機）は株から20 cm離して両側に1本ずつ敷設した。

1株当たりの点滴孔数は灌水チューブ1本あたり3穴、合計6穴であった。ナスの定植日は2014年9月7日、品種は、穂木は土佐鷹、台木は台太郎であった。株間は60 cm、畝幅は180 cm、畝の高さは20 cm、畝上面の幅は120 cmであり、白黒マルチ（白黒こかげマルチ、大倉工業株式会社）を畝の全面に被覆した。直近の灌水は調査の1日前であった。

芸西村圃場（以下、圃場Bとする）は細粒黄色土、土性はCL、調査時に畝全体から採取した深さ20 cmまでの土壌CECは $8.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ であった。タイマー制御による多頻度灌水で、圃場Aより1回当たりの灌水量が多かった（700～1,000 mL/株/回を雨天時以外に1日3～4回）。灌水チューブ（点滴孔間隔20 cm、ラム、ネタフィム社）は株元に1本と株から20 cm離して両側に1本ずつの計3本敷設した。1株当たりの点滴孔数は灌水チューブ1本あたり2.5穴、合計7.5穴であった。ナスの定植日は2014年8月15日、品種は、

穂木は土佐鷹，台木は台太郎であった．株間は 50 cm，畝幅は 200 cm，畝の高さは 30 cm，畝上面の幅は 100 cm であり，マルチは被覆しなかった．直近の灌水は調査の 2 時間前であった．

有機質資材，肥料の施用量については表 4.1，調査時の土壌物理性は表 4.2 に示す．両圃場とも追肥は有機配合液肥を用いて灌水と同時に施用した．

表 4.1 調査圃場の有機質資材および肥料の銘柄と施用量

		圃場A	圃場B	
有機質資材	種類	ビールかす	牛ふん堆肥	稲わら
	施用量 (kg m <sup>-2</sup> )	1.0	2.0	0.6
基肥	銘柄	甘熟特選 ミネラル源樹	なし	
	施用量 (g m <sup>-2</sup> )			
	N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O	16.0 / 16.0 / 11.9		
追肥	銘柄	アミノセルゲン 他	ブラックジャック1号	他
	施用量 (g m <sup>-2</sup> )			
	N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O	70.7 / 39.2 / 38.4	61.3 / 26.2 / 26.4	

表 4.2 供試土壌の物理性

	仮比重	固相率	液相率	気相率	飽和透水係数
	g cm <sup>-3</sup>	%	%	%	cm s <sup>-1</sup>
圃場A	0.9	36	39	25	5.4 × 10 <sup>-3</sup>
圃場B	1.2	46	34	20	2.5 × 10 <sup>-3</sup>

注) 固相率，液相率，気相率は pF1.5 での値．

#### 4.2.2 調査, 採土方法

根の調査と土壌採取は, 圃場 A では 2015 年 6 月 29 日, 圃場 B では 6 月 24 日に行った. 両圃場ともに連棟ハウスの中央付近の棟において, 棟当たり 3 畝ある中の中央畝およびその隣の畝で行った. 各畝から平均的な生育の株を 1 株ずつ選定した. 株元から 30 cm 離れた株間の中間地点から, 株に向かって 10 cm 毎に畝と垂直に畝断面を 3 つ (株元から 30, 20, 10 cm), さらに次の株間の中間点に向けて 3 つ (株元から 0, -10, -20 cm) の計 6 断面を作成した (図 4.1). 縦 10 cm×横 20 cm を 1 区画とし, 地表面から下方向に 2 区画 (上層: 0-10 cm 深, 下層: 10-20 cm 深), 横方向に 6 区画の計 12 区画に畝断面を区切った. 横方向の区画は株から両側通路方向に 0-20 cm を畝中央, 20-40 cm を灌水位置, 40 cm 以上を畝肩とした (図 4.2). 畝中心を軸として線対称とみなし同じ距離の部分の反復とした.

細根数は渡邊ら (2014) に準じて計測した. すなわち, 畝断面の各区画に縦 2 cm×横 4 cm の観察窓を 6 個 (3 列×2 段) 開けた板をあて, 観察窓から見える細根数を計測した. 断面位置の表記は株から畝方向に, 0 cm 断面, 10 cm 断面 (10 cm および-10 cm), 20 cm 断面 (20 cm および-20 cm), 30 cm 断面とした. 株位置から畝方向に同じ距離の断面を反復とした. 各区画の土壌を 10 cm の厚さで採取し, 分析に供した.

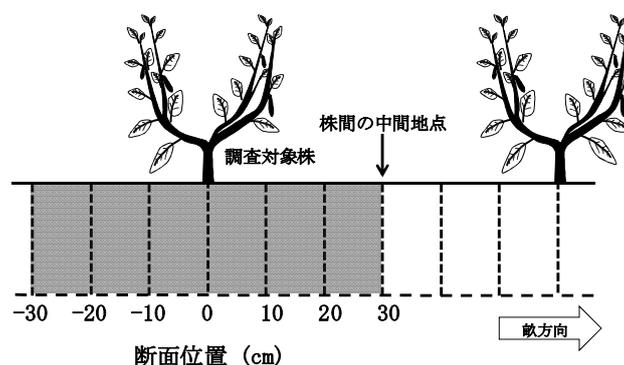


図 4.1 調査時に作成した畝断面位置の模式図

注) 畝内の着色した部分の土壌を採取した.

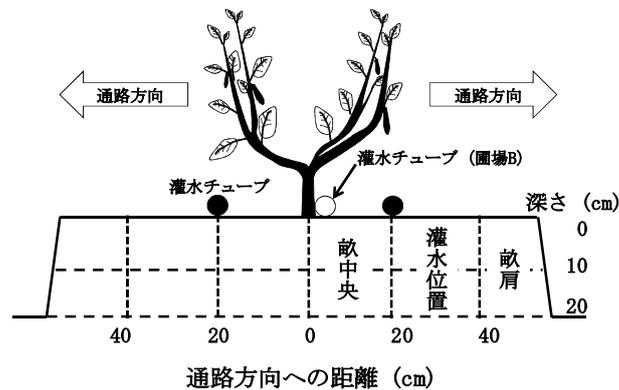


図 4.2 畝断面における区画分けの模式図

#### 4.2.3 土壌試料調製および調査項目

採取した湿潤土壌は5 mmの篩に通し、EC（湿潤土壌80 gにイオン交換水100 mL，乾土換算で約1：2，高知県農業技術センター・農業技術課，2005a），重量含水率を測定した（ECはTOA DKK CM-60Sを使用）．また，湿潤土壌30 gに1.3 mol L<sup>-1</sup>塩化カリウム水溶液を100 mL加えて振とう抽出し，硝酸態窒素濃度をオートアナライザー（QuAatro 2-HR，Bltec）により測定した．湿潤土壌を風乾し，2 mmの篩に通した風乾土5 gに1 mol L<sup>-1</sup>酢酸アンモニウムを100 mL加えて振とう抽出し（土壌環境分析法編集委員会編，1997），交換性K，Ca，Mg，Naの分析に供した．交換性K，Ca，Mgは原子吸光光度法，Naは炎光光度法（いずれもSHIMADZU AA-7000を使用）で測定した．

#### 4.2.4 統計処理

細根数および測定結果は圃場毎に，通路方向，畝方向，深さ間で三元配置分散分析を行った（ $P < 0.05$ ）後，同じ断面位置で，深さと通路方向への距離が異なる条件についてTukeyのHSD検定による多重比較を行った（ $P < 0.05$ ）．統計処理ソフトはR（Version 3.3.1，The R Foundation for Statistical Computing）を用いた．

### 4.3. 結果

#### 4.3.1 圃場A (安芸, 日射比例制御灌水)

細根数についてみると、通路方向への距離で有意差が認められた。いずれの断面でも灌水チューブ敷設位置から 20 cm の範囲で多く、10 cm と 20 cm 断面では畝中央や灌水位置と畝肩に有意差が認められた (図 4.3)。土壌の重量含水率についてみると、通路方向への距離、深さで有意差が認められ、いずれの断面も灌水チューブ敷設位置から 20 cm の範囲の下層で高かった (図 4.4)。土壌 EC と硝酸態窒素含有量についてみると、EC は通路方向への距離および深さ、硝酸態窒素含有量は通路方向への距離で有意差が認められた。EC、硝酸態窒素含有量はともに、いずれの断面も細根数が多い畝中央やかん水位置より畝肩で有意に高く、上層で下層より高かった (図 4.4)。土壌の交換性塩基含有量についてみると、K では通路方向への距離、Ca と Na では断面位置、通路方向への距離、深さ、通路方向への距離と深さの相互作用、Mg では通路方向への距離、深さ、通路方向への距離と深さの相互作用で有意差が認められた。K、Ca、Mg ではいずれの断面も細根数が多い畝中央やかん水位置より畝肩で有意に高く、Na では有意差は認められたものの通路方向でほぼ同程度であった (図 4.5)。

#### 4.3.2 圃場B (芸西, タイマー制御灌水)

細根数についてみると、通路方向への距離、深さ、通路方向への距離と深さの相互作用で有意差が認められ、いずれの断面も上層で多い傾向であった (図 4.6)。土壌の重量含水率についてみると、通路方向への距離で有意差が認められ、畝中央に向かうほど高かった (図 4.7)。土壌 EC と硝酸態窒素含有量についてみると、通路方向への距離で有意差が認められ、いずれも全ての断面において畝肩でそれ以外の部分より高かった (図 4.7)。土壌の交換性塩基含有量についてみると、K、Mg、Na では通路方向への距離、Ca では断面位置、通路方向への距離で有意差が認められた。いずれの元素もすべての断面の畝肩でそれ以外

の部分より高かった (図 4.8). EC や硝酸態窒素含有量, 交換性塩基含有量の低い位置は, 細根の多い位置より広範囲であった.

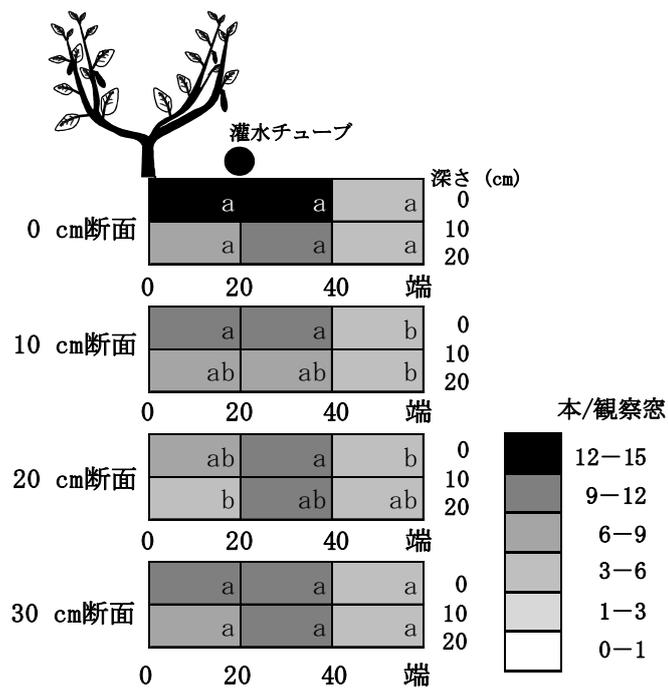


図 4.3 圃場 A における細根数の分布 (本/観察窓)

注 1) 0 cm および 30 cm 断面は  $n=2$ , 10 cm および 20 cm 断面は  $n=4$ .

注 2) 同一の断面位置において, 深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合, 異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ ).

注 3) 凡例は, 左の数値以上, 右の数値未満で示す.

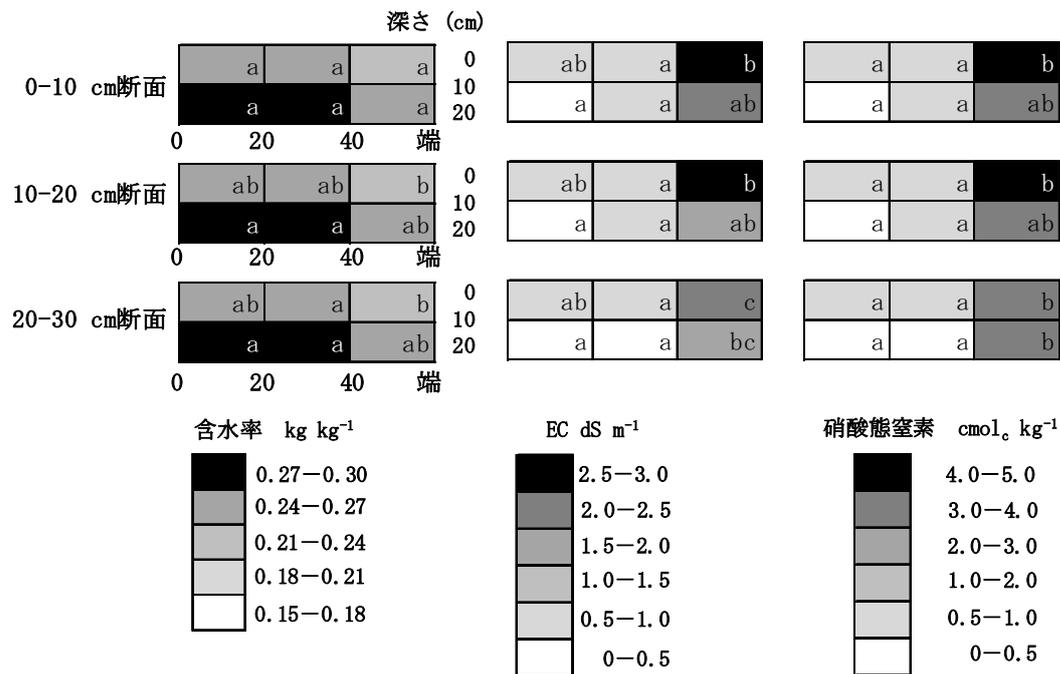


図 4.4 圃場 A における重量含水率 ( $\text{kg kg}^{-1}$ ), EC ( $\text{dS m}^{-1}$ ), 硝酸態窒素 ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) の分布 ( $n=4$ )

注 1) 株位置および灌水位置は図 3 に同じ。

注 2) 同一の断面位置において、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ )。

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す。

注 4) EC は湿润土壌 80 g に対しイオン交換水 100 mL (乾土換算で約 1 : 2) を加えて攪拌し測定した。

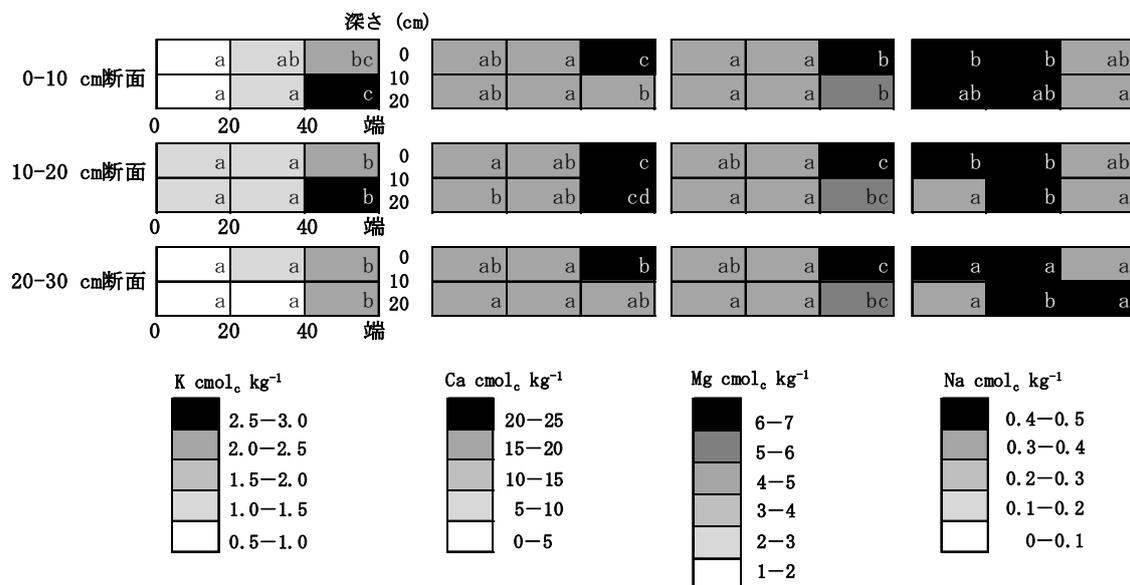


図 4.5 圃場 A における交換性塩基の分布 ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ,  $n=4$ )

注 1) 株位置および灌水位置は図 3 に同じ。

注 2) 同一の断面位置において、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ )。

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す。

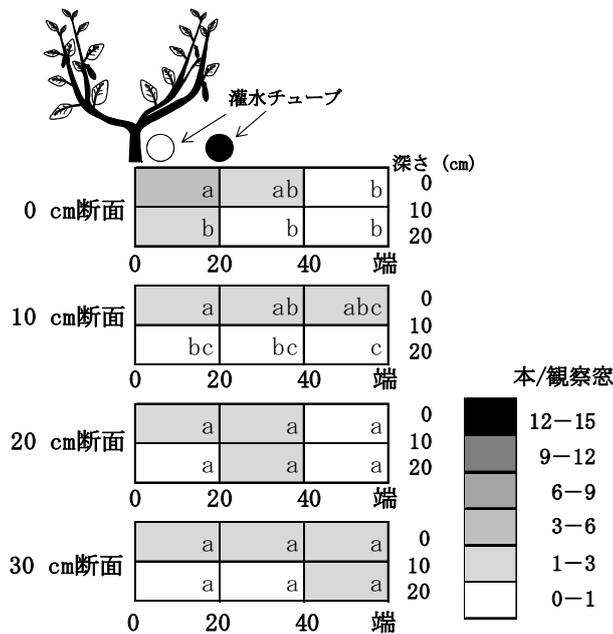


図 4.6 圃場 B における細根数の分布 (本/観察窓)

注 1) 0 cm および 30 cm 断面は  $n=2$ , 10 cm および 20 cm 断面は  $n=4$ .

注 2) 同一の断面位置において、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ ).

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す.

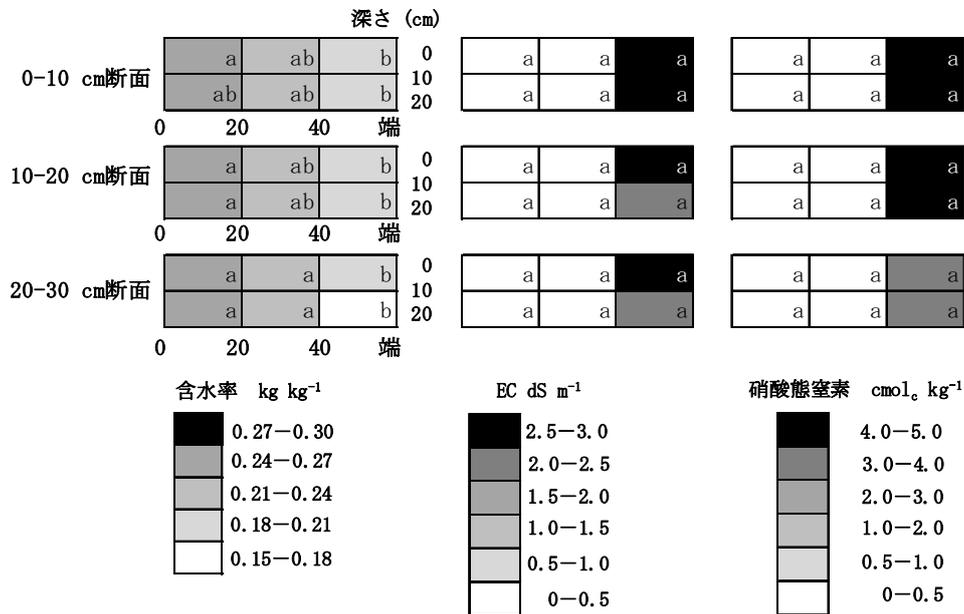


図 4.7 圃場 B における重量含水率 ( $\text{kg kg}^{-1}$ ), EC ( $\text{dS m}^{-1}$ ), 硝酸態窒素 ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) の分布 ( $n=4$ )

注 1) 株位置および灌水位置は図 6 に同じ.

注 2) 同一の断面位置において、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ ).

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す.

注 4) EC は湿潤土壌 80 g に対しイオン交換水 100 mL (乾土換算で約 1 : 2) を加えて攪拌し測定した.

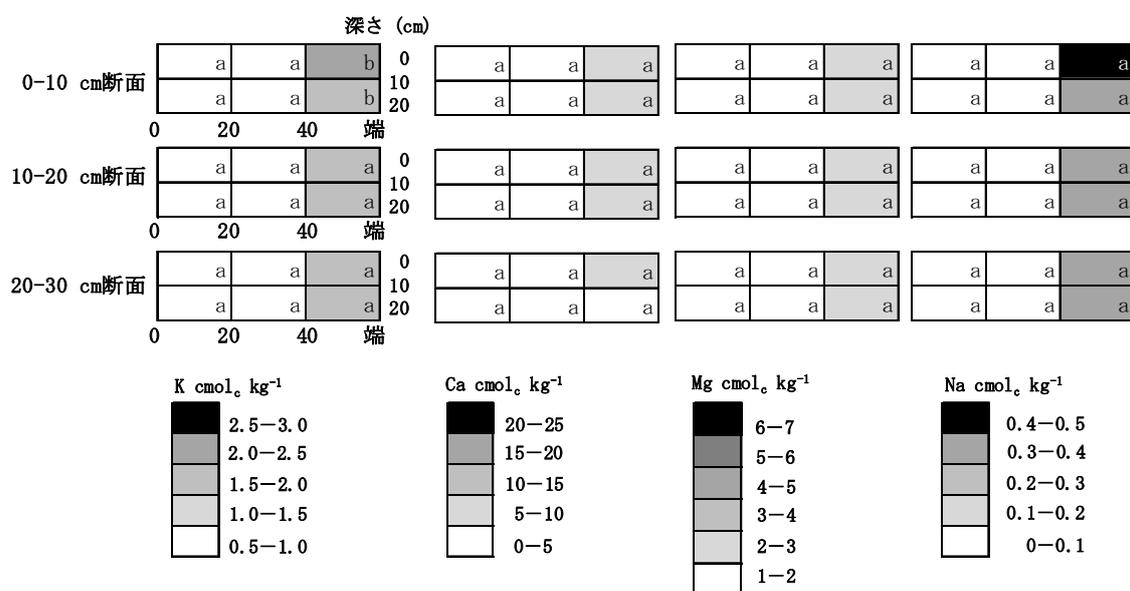


図 4.8 圃場 B における交換性塩基の分布 (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, n=4)

注 1) 株位置および灌水位置は図 6 に同じ。

注 2) 同一の断面位置において、深さと通路方向への距離が異なる条件で有意差がある場合、異なるアルファベットで示した ( $P < 0.05$ )。

注 3) 凡例は、左の数値以上、右の数値未満で示す。

#### 4.4 考察

高知県が定める施設畑の改良目標値の上限値は、K:0.98, Ca:7.35, Mg:2.48 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> である (高知県農業技術センター・農業技術課, 2005b)。圃場 A では栽培終期でも概ね畝全面において K, Ca, Mg の目標値以上の蓄積が認められた。また、圃場 B の畝肩において K, Ca, Mg が改良目標値以上に蓄積していた。栽培終了後に畝を崩して耕耘した場合、圃場全体が改良目標値の上限に近い値になる可能性があった。両圃場ともに塩類集積が認められる圃場であるといえる。

今回調査した両圃場において、ナスの細根は灌水チューブ敷設位置から 20 cm 以内の畝中央から灌水位置の部分で多かった。日置ら (2010) は施設栽培での養液土耕栽培では灌水位置から概ね 20 cm 以内に細根が多く分布することを、渡邊ら (2014) は露地栽培での日射制御型拍動自動灌水では点滴灌水チューブ敷設位置直下に細根が多く分布することを報告しており、今回はこれらと同様の結果が得られた。

畝内の土壌水分状態は、日射比例制御灌水である圃場 A の下層では上層より浸潤域が広がった。少量多頻度灌水では湿潤土壌中を灌漑水が等方向的に拡大しやすい(中川ら, 2002) ため、下層の畝肩でも含水率が高かったと考えられた。タイマー制御の多頻度灌水である圃場 B では、1 回当たりの灌水量が多かったため水平方向の水の広がり比べて鉛直方向への広がりが大きかったと思われる。さらにマルチを被覆していなかったことから、上下層ともに畝肩で乾燥したと考えられる。

日射比例制御灌水の圃場 A では、細根が多く分布する位置の EC や硝酸態窒素含有量が低かったため、灌水と同時に施用された追肥中の窒素が効率的に根に吸収されたと考えられる。一方タイマー制御灌水の圃場 B では、EC や硝酸態窒素含有量の低い位置が細根の多い位置より広範囲であったため、1 回当たりの灌水量が多く施肥窒素が主に根域外へ流亡したと考えられる。篠原ら (2007) は、日射比例型給液制御による給液管理の養液土耕栽培であっても、給液量が多いと硝酸態窒素が溶脱することを報告しており、今回調査したタイマー制御灌水の圃場と同様の結果となっている。

日射比例制御灌水の圃場 A においては、Na 含有量が灌水チューブ敷設位置付近で畝肩と同程度であった。ナスによる Na 吸収量は K, Ca, Mg に比べて一般的に低い(吉村ら, 1976, Dekoum *et al.*, 2013) ため、土壌に残存しやすいと考えられる。このことから、日射比例制御灌水は Na が溶脱する灌水方法ではなかったと考えられる。一方、タイマー制御灌水の圃場 B では、K, Ca, Mg と同じく Na 含有量は灌水チューブ敷設位置で畝肩より少なかった。これは、1 回当たりの灌水量が多く、塩基類含有量の低い位置が細根の多い位置より広範囲であったため、水の鉛直方向の移動に伴い Na を含め養分がさらに下層へ流出したことが理由と考えられる。

今回の調査結果より、養液土耕栽培であっても 1 回当たりの灌水量が多いと施肥養分が溶脱する恐れがあると思われた。したがって、日射比例制御灌水の導入などにより少量で多頻度に灌水することが養分の溶脱を防ぐ対策のひとつである。また、日射比例制御の少

量多頻度かん水では、養分が効率よく吸収されると考えられるため、ナスの養分吸収量に応じて施肥することにより肥料費の節約や環境負荷低減に寄与できると考えられる。

#### 4.5 要約

日射比例制御灌水の促成ナス栽培現場における細根および土壌養分の分布状態を明らかにし、タイマー制御灌水の圃場での分布と比較した。いずれの灌水方法でも灌水位置から 20 cm 以内の範囲に細根が集中して分布することがわかった。日射比例制御灌水では一回の灌水量が少なく、灌水と同時に施用された追肥中の窒素は積極的に根に吸収されたため、根域で EC および硝酸態窒素が低かったと思われる。また、ナスの吸収量が少ない Na が灌水位置付近でも残存していたことから、日射比例制御灌水では Na の流亡が少なかったと考えられる。一方、一回の灌水量が多かったタイマー制御灌水の場合、EC の低い部分が細根の多い部分より広がったことや、Na を含めた塩基類が畝肩以外で低かったことから、窒素や塩基類は 20 cm より深い位置へ流亡したと考えられる。

#### 引用文献

千葉大学園芸学部 2006. 日射比例型給液管理法を用いた溶液土耕栽培によるホウレンソウの硝酸イオン低減化マニュアル, p13-23. 野菜茶業研究所編. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 野菜茶業研究所, 三重.

Dekoum V. M. Assaha・Akihiro Ueda・Hirofumi Saneoka 2013. Comparison of growth and mineral accumulation of two solanaceous species, *Solanum scabrum* Mill. (huckleberry) and *S. melongena* L. (eggplant), under salinity stress. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **59**, 912-920.

土壌環境分析法編集委員会編 1997. 土壌環境分析法, p. 216-218. 博友社, 東京.

日置雅之・堀田行敏・伊藤裕朗 2010. 愛知県における施設野菜の根量分布. 土肥誌, **81**,

598-602.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005a. 分析測定診断テキスト分析の手引き-第6

次改訂増補版-, p. 33. 高知県.

高知県農業技術センター・農業技術課 2005b. 分析測定診断テキスト診断の手引き-第6

次改訂増補版-, p. 150. 高知県.

満田幸恵・荒木雅登・山本富三 2006. 促成ナスの点滴灌水施肥(養液土耕)栽培が土壌の

物理性および根の形態に及ぼす影響. 福岡農研報, 25, 29-32.

中川進平・相場剋之・柏木淳一・鈴木信治 2002. 多孔ホースを用いたマイクロ灌漑による

土壌水分動態. 土壌の物理性, 91, 39-47.

六本木和夫・加藤俊博 2000. 野菜・花卉の養液土耕, p. 14-30. 農文協, 東京.

篠原温・塚越覚・林菜穂子・丸尾達・北条雅章 2007. ホウレンソウの養液土耕における

日射比例型制御による硝酸濃度低減化技術の開発. 園学研, 6, 189-193.

渡邊修一・笠原賢明・松森堅治・吉川弘恭 2014. 根の簡易調査法の提案と露地ナス圃場

における調査事例. 土肥誌, 85, 519-524.

吉村修一・吉田理恵・前田正男・西尾和平・赤路清彦 1976. ハウスナス連作土壌の対策

調査〔4〕カリ欠乏と苦土過剰の障害. 大阪農技セ研報, 13, 17-24.

## 第5章 結論

### 5.1 総括

本研究は、促成栽培ナスを対象作物、塩類集積土壌での栽培を対策として、緑肥や湛水除塩といった畝外へ養分を持ち出す方法ではなく、灌水方法を工夫して蓄積養分をナスの生育に有効利用することを最終的な目標としている。そこで本論文では、塩類集積が進行している施設栽培圃場において、ナスの生育阻害を回避する土壌水分量を把握し、日射比例制御やタイマー制御による少量多頻度灌水において、畝内のナスの根分布や養分分布の推移に及ぼす影響を明らかにし、土壌養分の有効利用が可能な灌水方法であるかを評価した。

第1章では、本論文の序論として、研究の背景、目的および本論文の構成について述べた。高知県で盛んな農業形態である施設栽培圃場では、塩類集積が進んでいる。促成栽培では定植時期の早期化、雨よけ栽培では休閑期が冬季であることから、除塩ができない。塩基類やリン酸だけでなく、硝酸態窒素も残存する土壌に基肥を施用して苗を定植するため、初期生育への影響が懸念される。そのため、生育阻害を緩和する肥培管理技術の確立が喫緊の課題である。そこで本研究では、根域に効率的に給水と給肥が可能である養液土耕栽培と、限定された部分の土壌水分を高く維持できる少量多頻度灌水や、作物の要求に応じた給液管理が可能である日射比例制御灌水に着目した。各章において得られた結果および結論を、以下にまとめた。

第2章では、塩類集積土壌における残存硝酸態窒素と土壌水分が、ナス台木の初期生育に及ぼす影響を明らかにした。促成ナス栽培の農家圃場で採取した土壌に硝酸を添加し、窒素量を標準、標準の2倍、3倍量に調整し、本葉3~4枚のナス台木苗を移植した。次に、それぞれの土壌に、イオン交換水を添加して土壌水分をpF3.4(水分少)、pF2.5(水分中)、pF1.7(水分多)に調整して試験を開始した。ナスの生育は、「水分多」で最も良く、「水分

少」で最も劣った。ナスはトマトやピーマンと比べると土壌水分の影響を受けやすい。そのため、「水分少」では水分が少ないことで生育が阻害された。「水分中」では、N3倍でのナスの生育がN標準より大きく劣った。一方「水分多」では、N2倍やN3倍で草丈、茎径の生育、地上部と根の乾物重は劣ったものの、N標準との差は小さかった。土壌水分が多いと土壌溶液の塩類濃度が低くなり、土壌溶液の塩類濃度が低いほど土壌溶液の浸透圧は低下する。逆に、培養液濃度が高いと土壌溶液の浸透圧が高まり、細根の呼吸阻害が誘発されて窒素代謝阻害が起こる。このため、「水分中」におけるナスの生育は、硝酸態窒素含有量が多いほど阻害されたと考えられた。また、土壌溶液中の $\text{NO}_3^-$ 濃度が「水分中」で「水分多」より高く推移したため、「水分中」より「水分多」で生育が劣ったと思われる。

本試験では、「水分中」と「水分多」のN3倍では、N標準と比べてNa以外の養分含有量が増加し、特に「水分多」のCaで大きく増加した。土壌溶液中の $\text{NO}_3^-$ 量が増加すると土壌溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 量が増加することが知られている。塩類集積土壌に硝酸を添加したことで土壌溶液の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が増加し、その土壌溶液をナスが吸収したためCa含有量が増加したと思われる。ナスは収穫が始まるとMg欠乏を起こしやすい（農文協，1981）。今回の試験から、土壌溶液の塩類濃度が上昇するとナスの養分吸収のバランスが崩れることが示されたため、塩類集積がMg欠乏の要因の一つとなることが示唆された。

第3章では、少量多頻度灌水における土壌養分の有効利用性を評価した。高知県農業技術センターの試験圃場において、1日の灌水量を4回に分割して行う少量多頻度灌水（多頻度区）と、1日1回灌水（1回区）とでナスを栽培し、栽培終了までの生育・収量調査と、生育期間中に2回（定植後55日、195日）および栽培終了時（258日）の合計3回、畝断面調査を行った。その結果、細根は定植後195日までは、多頻度区で1回区より水平方向、垂直方向ともに広く分布した。定植後258日では、両区とも灌水位置から水平方向に25 cm、垂直方向に20 cmまで伸長した。含水率は、定植後195日までは、多頻度区で1回区より低かった。少量多頻度灌水では、畝内の水分移動が抑えられるうえ、ナスが吸水すること

で畝内の水分が低下しやすかったと考えられた。一方、灌水量が増えた 195 日以降では、多頻度区で 1 回区より畝内の含水率が高く維持された。1 回あたりの灌水量が多いと、垂直方向への水の移動が大きくなる。そのため、1 回区では 30 cm 以深に浸透し畝内に維持されなかったと考えられた。土壌養分は水の動きに伴って移動する。また、ナスは養分を水とともに吸収する。多頻度区では定植後 258 日に畝内に塩基類が残存したため、1 回あたりの灌水量は 30 cm 以深に浸透するほどではなかったと考えられた。以上から、少量多頻度灌水は、畝内の水分が高く維持され、養水分の溶脱量が少ない灌水方法であることが示された。

第 4 章では、日射比例とタイマーの 2 種類の制御方法による少量多頻度灌水におけるナスの根と土壌養分の分布を、畝内断面調査により詳細に調査した。高知県の促成ナス主要産地である安芸市と芸西村の実農家 2 圃場において調査を行った。両圃場ともに塩類集積が認められる圃場であった。栽培終了時のナスの細根は、灌水チューブ敷設位置から 20 cm 以内の畝中央から灌水位置の部分で多かった。第 3 章での調査結果により、少量多頻度灌水では定植後 55 日以降のナス細根は灌水位置から水平方向に 20-25 cm、垂直方向に 20cm 深の範囲に多く分布したことから、少量多頻度灌水での分布範囲は時期や制御方法によらず概ね一定であることが示唆された。

畝内の土壌水分状態は、日射比例制御灌水の 10-20 cm 層では 0-10 cm 層より浸潤域が広がった。これは、今回調査した日射比例制御灌水では、タイマー制御灌水より 1 回あたりの灌水量が少量であったため、灌漑水が等方向的に拡大しやすかったと考えられる。また、日射比例制御灌水では、細根が多く分布する位置の EC や硝酸態窒素含有量が低かったため、灌水と同時に施用された追肥中の窒素が効率的に根に吸収されたと考えられる。一方、多頻度灌水でも 1 回あたりの灌水量が多い場合、鉛直方向へ水が移動しやすく、灌水位置から離れた場所では水分が低下しやすい。水が下方浸透すると、細根が多い位置より EC や硝酸態窒素含有量の低い位置が広くなり、施肥効率が低下すると考えられる。

第2章は、ワグネルポットを用いた短期間の栽培試験により、土壌水分と硝酸態窒素含有量によるナスの生育への影響を精密に評価することが目的である。一方第3章と4章は、圃場での長期栽培により、畝内の養水分推移を調査しすることで、実際の農家圃場で起こりうる現象をとらえることが目的であった。硝酸態窒素残存量が多い土壌であっても、根域の土壌水分を pF1.7 以下に維持することで、定植初期の根の呼吸や吸水阻害が軽減できる。根域の土壌水分を高く（pF は低く）維持し、養分を畝内にとどめて溶脱を防ぐには、1 回あたりの灌水量を抑えて多頻度に灌水すること、特に、作物の光合成や養水分吸収のタイミングと量に呼応した給水と給肥をおこなうことが有効である。本試験では、圃場試験でのナスの養分吸収量が未調査であったことから、養分利用効率については今後調査する必要がある。加えて、地下浸透についても、ライシーメーターを用いて確認試験を行うことで、より正確な評価を行う必要がある。

養液土耕栽培技術の導入と、少量多頻度灌水や日射比例制御の灌水技術は、生育が促進され増収効果が見込まれるため、現場で評価され普及しつつある。本論文の第3章では、多頻度灌水と1回灌水での生育及び収量差が認められなかったが、その理由として多頻度区の栽培初期の乾燥が要因であった可能性がある。第2章で確認した通り、ナスは乾燥に弱いからである。日射比例制御灌水では、ナス定植初期の灌水量を日射に応じて管理することができるため、タイマー制御より生育に応じた給水が可能である。土壌水分を根域に限定して高く保つことや、作物の吸収に応じて養水分を供給することにより、ナスの生育促進と増収、環境負荷低減だけでなく、肥料費の節約にも寄与できると考えられる。

## 5.2 本研究の問題点と今後の研究課題

本研究において、硝酸態窒素残存量が多い塩類集積圃場において、少量多頻度、または日射比例制御で灌水管理することにより、ナス根域に限定して土壌水分を高く維持することができ、初期生育阻害の軽減と、環境負荷の低減が可能であることが示された。

今後、塩類集積圃場での試験において、少量多頻度灌水や日射比例制御灌水がナスの収量へ及ぼす影響や、土壌養分の吸収と利用効率を調査する必要がある。この灌水方法が根域の土壌環境を適正に管理できる栽培技術として、他品目や他県においても、広く生産現場に普及・活用されることを期待する。

#### 引用文献

社団法人農山漁村文化協会発行，1983． 加除式農業技術体系野菜編5 ナス基礎編，225.

東京.

## 謝辞

本研究の遂行ならびに本論文作成にあたり、終始熱心にご指導、ご鞭撻、ご助言、激励を賜りました岡山大学大学院環境生命科学研究科環境科学専攻教授 前田守弘先生に深く感謝いたします。前田守弘先生は、大学での学術論文執筆の指導に留まらず、現地調査への同行、分析の指導、私生活に至るまで、丁寧に接してくださいました。本当にありがとうございました。

岡山大学大学院環境生命科学研究科環境科学専攻教授 諸泉利嗣先生には、本研究の遂行ならびに論文の作成にあたりご懇篤なご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

岡山大学大学院環境生命科学研究科環境科学専攻教授 森也寸志先生には、現地調査、本研究の遂行ならびに論文作成に当たり、多大なご協力、ご助言、ご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

本研究の実験や博士論文作成を通じて、土壌圏管理学分野の学生諸氏とゼミ・実験を行い、ともに研究を進めてきました。お互いに刺激と研鑽しあうことができました。皆様に感謝の意を表します。さらに、窒素の分析に当たっては、木場遥香氏（現・岡山市）に多大なご協力を得ました。厚く御礼申し上げます。

本研究を推進するにあたり、小松昌平氏には土壌試料をご提供いただきました。影山直人氏には圃場調査、聞き取り調査、土壌試料のご提供で多大なるご協力をいただきました。栽培管理や収穫作業でお忙しい中、本当にありがとうございました。

調査圃場の選定および現地調査において、高知県農業振興部産地流通支援課の新田益男氏、平田建彦氏に多大なるご協力をいただきました。また本研究を推進するにあたり、高知県農業振興部環境農業推進課の安岡由紀氏、高知県農業技術センター生産環境課長、土壌肥料担当、高知県農業技術センターの全課の諸氏には、ナスの栽培、土壌サンプルの調整および分析、その他多方面からご協力いただきました。皆様のご協力無しには、本研究

の完成はありませんでした。これら多くの皆様にも厚く御礼申し上げます。