

福岡県農業総合試験場特別報告

第 2 7 号

果菜類の点滴かん水 施肥栽培に関する研究

平成 2 0 年 3 月

福岡県農業総合試験場
(筑紫野市大字吉木)

果菜類の点滴かん水 施肥栽培に関する研究

満 田 幸 恵

2 0 0 8

＊九州大学大学院学位審査論文

要 約

点滴かん水施肥栽培は、作物が必要とする量の水分と養分を、点滴チューブを用いて液肥の形で毎日供給する施肥法であり、塩類集積の回避および減肥栽培が可能となる、環境負荷の少ない栽培法である。さらに、かん水および施肥の自動化が可能であり、軽作業化が期待できる。しかし、生産現場ではしばしば、点滴かん水施肥栽培における生産の不安定さが指摘されている。その要因として、点滴かん水施肥栽培法は、従来の基肥を多量に施用し散水チューブでかん水する栽培法とは、養水分管理が異なることが挙げられる。

そこで、点滴かん水施肥栽培による果菜類の安定生産技術を確立し、環境への負荷低減の方策を明らかにするための研究を行った。以下はその要約である。

8. 1 土壤中の窒素の動態

ナス、トマト、イチゴのような野菜は、無機態窒素の中でも硝酸態窒素を好んで吸収し、好硝酸性植物と呼ばれる。現在市販されている土耕用複合液肥には、尿素態窒素が多く用いられ、点滴かん水施肥栽培では、作物が必要とする養分を液肥で随時供給するため、尿素は、土壤中で作物体が吸収できる形態に速やかに変化しなくてはならない。そこで、栽培品目に応じた窒素形態の肥料を選定するために、尿素的無機化および硝酸化成の速度とその温度依存性を明らかにした。

8. 1. 1 尿素的無機化

福岡県農業総合試験場内の畑圃場から採取した中粗粒灰色低地土を用い、窒素成分として200 mg kg⁻¹になるように尿素を土壤に施用し、尿素的無機化速度とその温度依存性を調査した。その結果、25～5℃の地温範囲では、温度によらず、1週間で尿素的無機化が完了することが認められた。すなわち、点滴かん水施肥栽培圃場では、尿素は速やかにアンモニウム態窒素に無機化されることを明らかにした。

8. 1. 2 アンモニウム態窒素の硝酸化成

上記の中粗粒灰色低地土と福岡県内の耕地から採取した黒ボク土を用いて、硫酸アンモニウムを添加し、硝酸化成の速度とその温度依存性およびアンモニウム態窒素添加量との関係を検討した。硝酸化成速度とその温度依存性に関しては、25～5℃の地温範囲では、温度が低いほど硝酸化成の速度は低下するという結果が得られた。窒素成分として200 mg kg⁻¹および40 mg kg⁻¹になるようにアンモニウム態窒素を添加したところ、同一培養期間での硝酸化成率は40 mg kg⁻¹添加が高かったけれども、硝酸化成量には、アンモニウム態窒素添加量200 mg kg⁻¹と40 mg kg⁻¹との間で差はみられなかった。

尿素的無機化と無機化されたアンモニウムの硝酸化成は酵素反応である。培養試験の結果、硝酸化成は、無機化に比べてその速度は遅く、温度依存性も大きいことが認められた。しかし、硝酸化成量は、5℃で培養した場合でも5mg N kg⁻¹ 週⁻¹以上であり、点滴かん水施肥栽培による施肥管理を行う場合、土壤中の無機化されたアンモニウム態窒素は速やかに硝酸態窒素に変わることが示唆された。

8. 2 ナスの点滴かん水施肥栽培における土壌窒素動態と生育および収量

8. 2. 1 ナス圃場における土壌からの供給窒素量

生産現場では、先進農家の肥培管理法を基盤に本栽培法を導入しても、期待される収量が得られない事例がしばしば見受けられる。このような、点滴かん水施肥栽培における肥培管理技術の不一致の原因のひとつとして、土壌からの供給窒素量が圃場ごとに異なることが考えられる。そこで、福岡県農業総合試験場内圃場および農家圃場における供給窒素量の推定を、培養試験の結果と栽培圃場の地温測定に基づいて試みた。

福岡県農業総合試験場内圃場の土壌窒素無機化量は単純型モデルに適合し、栽培期間中の土壌からの供給窒素量は 193 mg kg^{-1} あるいは 47 g m^{-2} と推定され、この値はナス農家圃場の標準的な施肥窒素量の67%に相当した。農家圃場9点の土壌からの供給窒素量の推定値は $162 \sim 649 \text{ mg kg}^{-1}$ ($32 \sim 130 \text{ g m}^{-2}$) の範囲にあり、最小値と最大値には4倍もの開きがあった。以上のことから、ナス栽培圃場における供給窒素量は圃場によって著しく異なり、土壌からの供給窒素量を考慮した施肥設計の必要性が示唆された。

8. 2. 2 土壌供給窒素量とナスの生育および収量

福岡県農業総合試験場内圃場（土壌からの供給窒素量 193 mg kg^{-1} あるいは 47 g m^{-2} ）において、慣行栽培と点滴かん水施肥栽培とを比較し、点滴かん水施肥栽培では、慣行施肥量に対する減肥率を100, 50, 0%とした3区を設け、栽培法および減肥率がナスの生育・収量に及ぼす影響を明らかにした。摘心前の生育は、慣行栽培より点滴かん水施肥栽培が進み、減肥率による差はみられなかった。吸収窒素量、栽培終了時の乾物重と主枝径の値は、いずれも慣行栽培が最も低く、点滴かん水施肥栽培では、施肥窒素量が多いほど大きい傾向にあった。収量は、点滴かん水施肥栽培の方が慣行栽培より高く、点滴かん水施肥栽培では減肥率による違いはみられなかった。

農家圃場を対象に、施肥窒素量とナス収量との関係を調査した結果、土壌からの供給窒素量が 162 mg kg^{-1} と 220 mg kg^{-1} の圃場では、減肥率80%程度で慣行栽培と同等の収量が得られた。供給窒素量が 649 mg kg^{-1} の圃場では、施肥の必要性は低いことが示唆された。

以上のことから、土壌からの供給窒素量が 162 mg kg^{-1} 以上の圃場では、大幅に減肥しても、慣行栽培と同等かそれ以上の収量が得られることを明らかにした。

8. 2. 3 ナス栽培圃場における窒素収支

土壌からの供給窒素量が 47 g m^{-2} と推定される圃場で、ナスの慣行栽培と点滴かん水施肥栽培における窒素収支を明らかにした。

点滴かん水施肥栽培において、慣行施肥量に対する減肥率を100%, 50%, 0%の3水準に設定した場合、3水準の間で、ナスの吸収窒素量に大きな差はみられず、収量にも有意差がみられなかったことから、経済的には点滴かん水無施肥栽培の優位性が示された。けれども、無施肥栽培では不明窒素の値がマイナスになり、土壌窒素の減耗が懸念された。一方、点滴かん水50%減肥栽培では、バランスのとれた窒素収支がみられ、根圏外への窒素溶脱を起こさない条件でのナスの点滴かん水施肥栽培が行われ得ることが示唆された。

慣行栽培と点滴かん水施肥栽培（減肥なし）とを比較すると、利用可能な窒素量が同量であ

るにもかかわらず、ナスの吸収窒素量および栽培終了時の土壌の残存無機態窒素量は、点滴かん水施肥栽培がより多く、そのことの帰結として、不明窒素量は慣行栽培がより多かった。不明窒素は、脱窒あるいは溶脱により根圏外へ持ち出された窒素とみなされる。溶脱により下層へ移行した窒素の一部は、環境へ負荷を与えることが予期され、点滴かん水施肥栽培は、環境負荷を低減できる方法のひとつであることが示唆された。

8. 3 ナス栽培における土壌の物理性およびナスの根の形態

点滴かん水施肥栽培で、慣行栽培に比べて、ナスの高い収量が得られた要因を検討するため、土壌の物理性およびナスの根の形態について、点滴かん水施肥栽培と慣行栽培との比較を行った。

栽培終了時の圃場の土壌の物理性を比較した結果、点滴かん水施肥栽培の土壌では、表面の硬度および深さ30 cmまでの貫入抵抗値が慣行栽培に比べて低く、より多孔質で膨軟であることが認められた。慣行栽培圃場と点滴かん水施肥栽培圃場の貫入抵抗値は、深さが増すにつれてその差が大きくなり、慣行栽培では、深さ30 cmまでの高い貫入抵抗値により、根の伸長が抑制されたことが推察された。

慣行栽培と点滴かん水施肥栽培との間でナスの根重および根長を比較した結果、根重は両栽培法で同等であったけれども、根長は点滴かん水施肥栽培がより長かった。すなわち、点滴かん水施肥栽培では、細根がより多く発達し、効率よく養水分を吸収できることが示唆された。点滴かん水施肥栽培の根長が長かったことの要因として、土壌が膨軟であり、根の伸長に対する物理的ストレスが低いことが考えられた。

8. 4 ナスの点滴かん水施肥栽培における土壌診断および栄養診断

ナスの点滴かん水施肥栽培において、栽培中に適正な施肥量を決定するための指標として、土壌の硝酸態窒素含量と作物体の硝酸イオン濃度を、それぞれ土壌診断と栄養診断に用いることを検討した。

8. 4. 1 ナス栽培圃場の硝酸態窒素含量を指標とした土壌診断

福岡県農業総合試験場内（土壌からの供給窒素量 193 mg kg^{-1} あるいは 47 g m^{-2} ）圃場の点滴かん水施肥栽培では、慣行施肥量に対する減肥率50%において栽培に最も適する結果が得られ、この時の土壌中硝酸態窒素含量は $30 \sim 60 \text{ mg kg}^{-1}$ であった。農家圃場の土壌診断では、慣行栽培と同等の収量が得られる土壌の硝酸態窒素含量として、 30 mg kg^{-1} の値が得られた。以上より、ナスの点滴かん水施肥栽培では、土壌の硝酸態窒素含量（採取位置：株元とかん水チューブの中間点、深さ20 cmまで）が 30 mg kg^{-1} 以上であれば、十分な収量が得られると判断した。

簡易分析、すなわち、秤量した湿潤原土の5倍量の蒸留水を加えて得られたろ液の硝酸イオン濃度を、小型反射式分光光度計で計測し、「計測値 $\times 0.226 \times 5 \times 1.33$ （1.33は乾土への換算係数）」より乾土 1 kg 当たりの硝酸態窒素含量を求める方法は、迅速な土壌診断を行うのに有効であることが示された。

8. 4. 2 ナス体内の硝酸イオン濃度を指標とした栄養診断

栄養診断を行う際の測定部位としては、切り落とした側枝の葉柄が適すると判断された。穂木が‘筑陽’ (*Solanum melongena* L.)、台木が‘トレロ’ (*S. torvum*) である場合の葉柄汁液中硝酸イオン濃度は、3月下旬までは10,000 mg L⁻¹程度、それ以降は12,000 mg L⁻¹程度が望ましいとされた。土壤中硝酸態窒素含量が高いほど、葉柄汁液中硝酸イオン濃度は高くなるとは必ずしも言えず、葉柄汁液中硝酸イオン濃度は、窒素の過剰の指標ではなく欠乏の指標として用いるべきであることを提言した。異なる台木を用いた場合には、土壤中硝酸態窒素含量が同量でも葉柄汁液中硝酸イオン濃度が異なり、台木に応じた診断基準値の設定が必要であることが示唆された。

8. 5 トマトの点滴かん水施肥栽培における土壤窒素動態と収量および品質

8. 5. 1 かん水方法および施肥窒素量とトマトの収量および品質

福岡県農業総合試験場内ガラス温室で、土壌からの供給窒素量が49 g m⁻²と推定される試験区でトマトを栽培し、慣行栽培と点滴かん水施肥栽培とを比較した。点滴かん水施肥栽培では、慣行施肥量に対する減肥率を50%と75%の2水準とした。栽培法および施肥量にかかわらず、トマトの収量および果実の品質は同等であった。

かん水方法および施肥窒素量がトマトの収量および果実の品質に及ぼす影響について、既報と対比した結果、栽培時期、土壌からの供給窒素量、栽培時の土壌中硝酸態窒素含量がそれぞれ異なるために、既報と本研究の間で、収量および品質と施肥窒素量との関係が異なると考えられた。このことは、トマト栽培において、かん水方法、栽培時期、土壌からの供給窒素量、栽培時の土壌中硝酸態窒素含量に応じた施肥管理が求められることを示唆した。

8. 5. 2 トマトの点滴かん水施肥栽培におけるかん水量と収量および品質

点滴かん水施肥栽培におけるかん水量が、トマトの収量および品質に及ぼす影響について明らかにした。

トマトの点滴かん水施肥栽培では、かん水量が少ないほど収量および吸収窒素量が低下し、果実糖度は高まることが認められ、これは、既報の遮根シートを用いた栽培での試験結果と同様であった。収量と果実糖度との間に負の相関がみられることから、収量および品質の目標値の設定は、トマトの単価によって決定すべきことを提言した。

8. 5. 3 トマト栽培圃場における窒素収支

点滴かん水施肥栽培（慣行栽培に対する減肥率2水準）と慣行栽培とを比較した結果、トマトの吸収窒素量は、かん水方法および施肥量によらずいずれも同等であった。慣行栽培と点滴かん水50%減肥栽培との比較では、利用可能な窒素量は慣行栽培が多かったにもかかわらず、残存無機態窒素量は両者で同等であった。不明窒素量は、これらの収支として表され、慣行栽培で多かった。不明窒素の一部は、水の下方浸透に伴い下層へ溶脱することが懸念され、ナスと同様にトマト栽培においても、点滴かん水施肥栽培が環境への負荷が低い栽培法であることが明らかになった。

点滴かん水施肥栽培においてかん水量を異にした場合、かん水量が少ないほど吸収窒素量は少なくなった。一方、土壌の残存無機態窒素量は、かん水量が少ないほど多く、その差は吸収窒素量の差よりも大きかった。その結果、不明窒素量はかん水量が少ないほど少なく、かん水

量の少ない点滴かん水施肥栽培は、隔離床栽培に準じた栽培となることが示唆された。

8. 6 イチゴの高設栽培における収量と窒素動態

イチゴの植付・栽培・収穫等に伴う作業は、イチゴの低い草姿のために前屈になって行われる。そのため、作業姿勢の改善を目的として構築された高設栽培システムが生産現場へ導入されている。しかし、培地の量が土耕栽培の土の量に比べて少なく、きめ細かな養水分管理を行う必要があるため、勾配の有無や水圧の変動にかかわらず均一なかん水が可能で、かつ単位時間当たりの吐出量が少ない点滴チューブが広く用いられている。そこで、点滴チューブを用いたイチゴの高設栽培を対象に、適正な施肥管理について検討した。

8. 6. 1 液肥中窒素濃度とイチゴの生育および収量

窒素を含まない培地を用いて、液肥中窒素濃度を 35 mg L^{-1} 、 70 mg L^{-1} 、 140 mg L^{-1} の3水準に設定し、イチゴの生育・収量と液肥中窒素濃度との関係について検討した。液肥中窒素濃度を 140 mg L^{-1} とした場合は、葉色が濃くかつ収量は低く、窒素供給過剰であることが推察された。液肥中窒素濃度 35 mg L^{-1} と 70 mg L^{-1} とでは、同等の収量が得られた。

8. 6. 2 イチゴの高設栽培における培地溶液中硝酸態窒素濃度および葉柄汁液中硝酸イオン濃度の推移と収量への関わり

生産現場における多様な培地および施肥条件に対応して、安定して高収量を得るためには、培地および作物体の養分濃度を継続的に把握し、それに応じて液肥として施用する養分の量を増減する必要がある。そこで、培地溶液中硝酸態窒素濃度および葉柄汁液中硝酸イオン濃度の推移とイチゴ収量との関係を検討した。

培地溶液中硝酸態窒素濃度が 20 mg L^{-1} を下回り、培地からの窒素の供給や施肥した固体肥料の肥効が期待できない条件下で、それまでと同様の窒素濃度の液肥を施用した場合には、培地溶液中硝酸態窒素濃度は低下し続け、それに伴い、葉柄汁液中硝酸イオン濃度も低下することが認められた。多量の固体肥料の施用あるいは窒素濃度の高い液肥の施用により、培地溶液中硝酸態窒素濃度が 90 mg L^{-1} を上回るような施肥管理を行った場合には、その後の培地溶液中硝酸態窒素濃度が上昇する可能性が高いことが示唆された。一方で、葉柄汁液中硝酸イオン濃度は、培地溶液中硝酸態窒素濃度の高まりに応じて高まることはなく、イチゴへの窒素の供給過剰の指標としては用いることはできないと判断された。イチゴの高設栽培における、2月下旬までの適正な培地溶液中硝酸態窒素濃度は $20 \sim 90 \text{ mg L}^{-1}$ で、その場合の葉柄汁液中硝酸イオン濃度は $2,700 \sim 3,900 \text{ mg L}^{-1}$ であることが認められた。培地溶液中硝酸態窒素濃度が 150 mg L^{-1} を超えるような条件で栽培を行った場合には、収量が低下する結果が得られた。

以上、果菜類（ナス、トマト、イチゴ）の点滴かん水施肥栽培を対象に、土壌／培地の窒素動態を明らかにし、栽培条件が収量に及ぼす影響の検討を行った。土壌からの供給窒素量は、圃場によって異なるため、個々の圃場に応じた施肥管理が必要であることを提言し、安定して高い収量が得られるための土壌／培地中硝酸態窒素濃度および植物体内硝酸イオン濃度の基準値を設定した。さらに、点滴かん水施肥栽培は、環境負荷の低い環境保全型の栽培法であることを明確にした。本研究が、点滴かん水施肥栽培の普及に寄与し、施設園芸の発展の一助とな

ることを期待する。