

土 壌 中 の 可 給 態 窒 素 評 価 に お け る  
幼 植 物 試 験 の 方 法 と そ の 意 義

An Evaluation of Nitrogen Availability in Soils  
by Seedling Method

内 山 知 二

2004

# 目次

	頁
第 1 章 緒言	1
第 2 章 コマツナ供試品種の選択と播種方法の改良	4
第 1 節 発芽安定性の高い品種と試験結果への影響	5
第 2 節 幼植物試験における播種済みシートの有効性	18
第 3 章 装置化による栽培環境の安定	28
第 1 節 装置化による光環境と地温の安定	29
第 2 節 塩類の影響を受けない光学式水分センサーの開発	36
第 4 章 分析的手法と幼植物試験の比較	54
第 1 節 未耕作土壌における幼植物試験の意義	55
第 2 節 熟畑化土壌における幼植物試験の意義	69
第 3 節 牛糞堆肥の水抽出画分と抽出残渣の効果	83
第 5 章 総合考察	92
第 6 章 総括および結論	96
謝 辞	99
文 献	101
SUMMARY	107

## 第 1 章 緒 言

農業生産において窒素は植物養分として最も重要な成分であり、土壌中の可給態窒素評価については数多くの研究がある（神谷ら 1995, 松浦ら 1989, 西尾ら 2002, Barber, S. A.ら 1995, 椎葉ら 2003, 瀧嶋 1960）。可給態窒素の分析的な手法としては、土壌抽出液に含まれる硝酸態やアンモニア態窒素のような無機態窒素を測定する方法、微生物による影響を加味したものとして一定期間土壌をインキュベーションする方法等が行われている。特に、農耕地の可給態窒素の指標として定着しているのは硝酸態窒素とアンモニア態窒素を定量する方法で、短時間で安定した評価が得られる。しかし、近年、肥効調節型肥料が普及したこと（庄司 1993）や堆肥等の有機質資材の効果を見直す機運が広がり、土壌中の窒素栄養が必ずしも硝酸態窒素含量のような無機態窒素だけでは評価しにくい場面が増加してきた。一方、わが国の肥料取締法では、肥料の安全性を確保することを主眼にした植物を使った試験方法が規定されていて、コマツナを用いた幼植物試験を評価手法のひとつとして重視する方向を示している。

この試験方法における供試作物は「原則としてコマツナとする」とされ、温度管理については「試験期間中における栽培温度は、原則として摂氏15度から25度までの範囲内に保つものとする」と記載されているにすぎない。また、灌水については「最大容水量の50～60%となるように」し、栽培期間の後半には「適宜給水する」といった規定しかなされていない。このため、この試験結果の評価は同時に実施した同一のコマツナ品種に関して、標準的な肥料を与えた

場合の生育と試験資材を与えた場合のそれとを比較した指数を示すにとどまっている。また、環境条件によってコマツナの生育が大きく異なることは容易に想像でき、他の試験結果との比較ができないばかりか、場合によっては同じ資材に対して異なる評価を下す可能性がある。このような背景から、この幼植物試験をより有効なものにするためには、播種方法を含めた供試品種の検討や、栽培環境の平準化が重要であると考え、栽培試験方法の改良を検討することにした。また、再現性の高い試験条件が確保されることによって土壤中の可給態窒素評価において、従来の分析的手法と幼植物試験による方法を比較し、幼植物試験による方法の有効性について検討することを目的とした。

すなわち、第2章では、供試植物側の問題として、供試するコマツナ品種が様々な温度条件のもとで、発芽に要する時間を調査し、供試品種として適した品種を明らかにした。また、これらのコマツナ品種が、標準的な栽培環境のもとで3週間の栽培後に試験結果に与える影響について検討した。さらに、個人的な技量が影響しにくい播種方法として、水溶性の播種シートを作製し、これを用いることで試験をほぼ同時に開始する方法を検討した。

第3章では、栽培環境を平準化するために人工照明や土壌恒温槽を持つ栽培装置を構成し、その効果を検証した。また、小型のポット栽培において土壌塩類の影響を受けない光学式水分センサーを用いた自動灌水装置について検討した。

第4章では、平準化された栽培条件で幼植物試験を行い、従来法である硝酸態窒素の定量やインキュベーションによる可給態窒素の評価と幼植物試験の結果を比較しすることで栽培試験の有用性につ

いて検討した。

第5章では、本研究で得られた結果を総合し、これまで十分に活用されていなかったと考えられる幼植物試験法の可給態窒素評価における意義について論じた。

## 第2章 コマツナ供試品種の選択と播種方法の改良

緒言で述べたように、肥料取締法では、肥料の安全性を確保するために植物を使った試験方法が規定されている。この試験方法における供試作物は「原則としてコマツナとする」（肥料取締法附則1997年版）（以下、引用は原文のまま）とされ、供試品種については言及していない。このため、この試験の評価は同時に実施した同一品種に関して、標準的な肥料を与えた場合の生育と試験資材を与えた場合のそれとを比較した指数を示すにとどまっている。これでは、他の場所の試験結果との比較が困難で、場合によっては同じ資材に対して異なる評価を下す可能性がある。この試験方法の改善には、供試植物側の問題として、コマツナ品種の違いが試験結果に与える影響について確認しておく必要がある。また、播種方法については「種子が等間隔となるようます目状にピンセット等を用いて行い、は種後、風乾土壌で種子が隠れる程度に覆う」とされているが、様々な試験用土あるいは被評価資材を混合した用土を入れたポットに均等な間隔で播種する作業は特に初心者には難しく、個人的な技量が試験成績に影響するおそれがある。このため、幼植物試験での利便性を高めるためには、播種作業の簡便化が必要であると考え、作業を簡便にする播種済みシートを作成し、これを利用する手法を検討した。

## 第 1 節 発芽安定性の高い品種と試験結果への影響

### 1. 目的

肥料取締法では、肥料の安全性を確保するために植物を使った試験方法が規定されている。1999年には堆肥等の品質表示制度の創設や汚泥肥料の登録制への移行を中心に改正が行われ（水野 2000, 福田 2000）、汚泥肥料等の登録要件にこの試験（以下、ノイバウエル幼植物試験）が加えられた。この試験方法における供試作物は「原則としてこまつなとする」（肥料取締法附則 1997年版）とされ、温度管理については「試験期間中における栽培温度は、原則として摂氏15度から25度までの範囲内に保つものとする」と記載されているものの、供試品種については言及していない。このため、この試験の評価は同時に実施した同一品種に関して、標準的な肥料を与えた場合の生育と試験資材を与えた場合のそれとを比較した指数を示すにとどまっている。これでは、他の場所の試験結果との比較が困難で、場合によっては同じ資材に対して異なる評価を下す可能性がある。試験方法の改善には、栽培環境の平準化が大きな要因になるが、ここでは植物側の問題として、供試するコマツナ品種の違いが試験結果に与える影響について、ろ紙上での発芽試験と埋土種子の出芽時間について調査した。

### 2. 材料および方法

#### 1) コマツナ種子の発芽調査

前述したように、ノイバウエル幼植物試験では原則としてコマツナを供試するとされている。コマツナは元来、発芽温度の適応範囲が広いとされている（野菜園芸大百科 1989）ため、試験法（肥料取締法附則 1997年版）に書かれている「摂氏15度から25度まで」に30℃を加えた温度範囲で、発芽揃いの良い品種を検索することにした。同時に、コマツナ種子は品種によって粒径が異なるため、粒径の違いと発芽時間の関係を調査した。

まず、第2-1-1表に示した9品種について、1.4, 1.7, 2.0mmの丸穴ふるいで篩分し、それぞれの画分について粒数と重量を測定した。発芽試験は、1.4mm以下と2mm以上の画分を除き、外観に異常のない種子（J. Bekendam and R. Grob 1979）を供試した（山崎基嘉 2001）。

発芽試験は、観察を容易にするために、シャーレを用いる発芽試験法（International Rules for Seed Testing Rules 1996）に準じた。すなわち、内径86mm、深さ13mmのプラスチック製シャーレに粒径別に各50粒の種子を付けた直径90mmの粘着剤付きの発芽試験シート（富士平工業（株）製）を敷き、イオン交換水5mLで湿らせた。シャーレはふたをして、設定温度別にチャック付きビニル袋に入れ、調査時以外は開けないようにして保湿した。これを、15, 20, 25, 30℃（精度±1℃）に設定されたインキュベータ（日本医化器機製TG-100-AD）内に暗条件で設置した。発芽数の調査は、播種後18, 24, 48, 72, 96時間後に行った。また、ロットによる違いを確認するために1年間冷蔵庫保存した種子について同様に調査した。

## 2) ノイバウエルポットを用いる栽培試験

ノイバウエルポット試験における播種方法は、以下のようにした。すなわち、未耕作の花崗岩風化土500mLのうち450mLを入れ、最大容水量の約50%になるように水分量を調整した。これに種子25粒を播き、噴霧器（松下電器産業製BH-565B）で水道水を2秒間散布し、残り50mLの用土で十分覆土して、最終的に最大容水量の60%になるまで噴霧器で給水した。なお、供試土の肥料成分が少ないことと緩衝能が低いことから、40日間溶出の肥効調節型肥料（くみあい微量元素入り被覆燐硝安加里313-40、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=13:11:13）830mg（窒素として10g m<sup>-2</sup>に相当）を播種前に用土と混和した。

栽培管理は以下のように行った。すなわち播種の終わったポットを保湿のためにポリエチレン製ラップを掛けて暗条件にした25℃インキュベータ（日本医化器機製TG-100-AD）に入れ、播種後2日目にラップをとって12時間照明のある空調室に移設した。室温は20～26℃に管理した。灌水は1日1～2回、噴霧器で重量測定しながら減量分を補った。間引きは播種後7日目にできるだけ等間隔になるように9株を残して地上部を切り取った。そして播種後21日間栽培を続けた。生育調査は、播種後7日目までの出芽数の推移を調査するとともに、播種7日目と14日目に株径を、播種21日後に株径、最大葉長、葉色、地上部新鮮重、地上部乾物重を測定した。

### 3. 結果および考察

#### 1) コマツナ種子の発芽調査

供試した9品種は、播種後96時間の間に、いずれも高い発芽率を示した（第2-1-1図）。温度別に見ると、いずれの品種も温度が高

いほど発芽が早く，‘夏楽天’のように低温では発芽が遅延する品種があった．試験法には，播種後の操作に関しては，「風乾土壌で種子が隠れる程度に覆う」という覆土に関する記述と「試験開始後約10日間は（中略）減水分を補給し」という水分管理の記述があるだけである．また，発芽に関する調査は，「発芽後5～7日（中略）のカラー写真を撮っておく。」ことと，発芽率を記録することとしている．埋土種子への土壌空気の影響を考えると，発芽が早くて揃いの良い品種が望まれる．その点，48時間後にすべての温度で発芽率が100%に達したのは，‘浜美2号’と‘笑天’だけであった．特に‘浜美2号’は，20℃24時間後で88%，15℃24時間後でも44%が発芽し，低温域での発芽が良好であった．これらの結果から，温度管理が可能な場所では，25℃を維持することによって，いずれの品種を用いても試験に支障はないと考えられたが，15℃程度の低温になる可能性のある場所では，温度適応性の高い‘浜美2号’が好適な品種であった．

## 2) ノイバウエルポットを用いる栽培試験

播種後7日目までの出芽数の推移を第2-1-2図に示す．

コマツナの株径の推移を第2-1-2表に，播種21日後の生育調査結果を第2-1-3表に示す．新鮮重，乾物重は品種に大きく異なり，新鮮重の最も重かった‘おそめ’は，‘わかみ’の倍近い重さがあった．有機質資材の評価にノイバウエル幼植物試験を使うと，易分解性の画分が発芽を阻害する可能性がある．土壌空気と大気的气体組成は大きく異なることが知られており，発芽に時間を要すると埋土種子の発芽に影響する可能性がある．このため，出芽揃いの良い品

種の選択は重要で、25℃程度が確保できる条件では‘浜美2号’、‘黒みすぎ’、‘わかみ’が好適な品種であった。

#### 4. 摘要

肥料取締法が改正され、肥料成分の有効性と植物に対する障害性を評価する幼植物試験の重要性が高まると考えられる。そこで、供試するコマツナの品種が発芽や生育に及ぼす影響を調査し、以下の結果が得られた。

1) 温度管理が可能な場所では、25℃を維持することによって、種子の粒径にかかわらず、いずれの品種を用いても試験に支障はないと考えられた。しかし、15℃程度の低温になる可能性のある場所では、温度適応性の高い‘浜美2号’が好適な品種であった。

2) 有機質資材の評価にノイバウエル幼植物試験を使うと、易分解性の画分が発芽を阻害する可能性がある。土壤空気と大気のガス組成は大きく異なることが知られており、発芽に時間を要すると埋土種子の発芽に影響する可能性がある。このため、出芽揃いの良い品種の選択は重要で、25℃程度が確保できる条件では‘浜美2号’、‘黒みすぎ’、‘わかみ’が好適な品種であった。

第2-1-1表 コマツナ播種試験における供試品種

粒径選別時の歩留り <sup>†</sup> (%)			
品種名	粒数	重量	生産地
極楽天	82.8	85.2	デンマーク
浜美2号	64.8	74.7	日本(埼玉県)
黒みすぎ	36.2	32.2	日本(埼玉県)
みすぎ	48.0	40.9	日本(埼玉県)
夏楽天	68.9	63.3	イタリア
おそめ	2.6	2.1	アメリカ
楽天	32.4	23.7	アメリカ
笑天	47.0	36.5	アメリカ
わかみ	49.7	45.5	日本(埼玉県)

<sup>†</sup> 各5gの種子を1.4mm以上1.7mm未満に篩分し、粒数と重量の割合を調査した。

第2-1-2表 各コマツナ品種の株径の推移

(単位 mm)

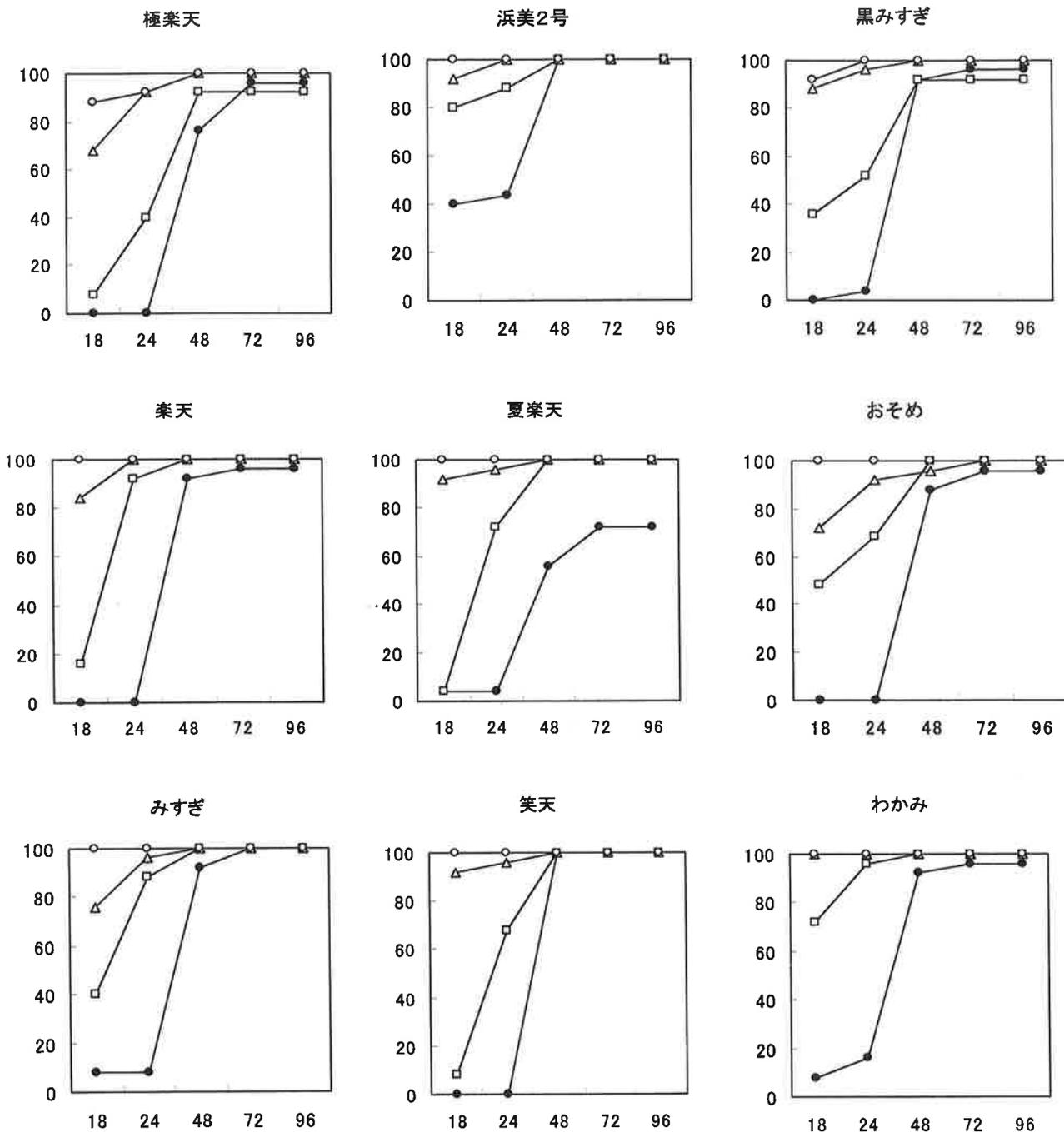
品種名	7日目	14日目	21日目
極楽天	20 ± 4	53 ± 15	106 ± 28
浜美2号	20 ± 2	59 ± 8	117 ± 16
黒みすぎ	27 ± 2	62 ± 9	125 ± 18
みすぎ	23 ± 5	63 ± 15	145 ± 47
夏楽天	19 ± 2	58 ± 11	116 ± 15
おそめ	27 ± 5	65 ± 17	140 ± 23
楽天	24 ± 4	70 ± 17	135 ± 18
笑天	20 ± 4	53 ± 15	106 ± 28
わかみ	22 ± 3	50 ± 9	105 ± 17

数字は平均 ± 標準偏差.

第2-1-3表 各コマツナ品種の生育結果

品 種	最大葉長 mm	最大葉幅 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
極楽天	85 ± 8	37 ± 4	38.3 ± 5.8	1.27 ± 0.29	77 ± 0
浜美2号	90 ± 15	41 ± 8	37.0 ± 5.6	1.37 ± 0.46	80 ± 9
黒みすぎ	99 ± 13	48 ± 8	39.3 ± 3.4	1.72 ± 0.51	111 ± 9
みすぎ	107 ± 29	46 ± 14	37.6 ± 4.3	1.92 ± 1.12	121 ± 22
夏楽天	92 ± 10	39 ± 8	38.8 ± 2.0	1.45 ± 0.54	87 ± 18
おそめ	111 ± 12	45 ± 7	40.1 ± 4.3	2.10 ± 0.72	143 ± 1
楽天	104 ± 13	44 ± 7	40.2 ± 3.9	2.00 ± 0.49	121 ± 1
笑天	83 ± 16	36 ± 7	37.6 ± 3.4	1.25 ± 0.65	82 ± 34
わかみ	78 ± 11	36 ± 6	39.4 ± 4.3	1.09 ± 0.47	72 ± 4

数字は平均 ± 標準偏差。

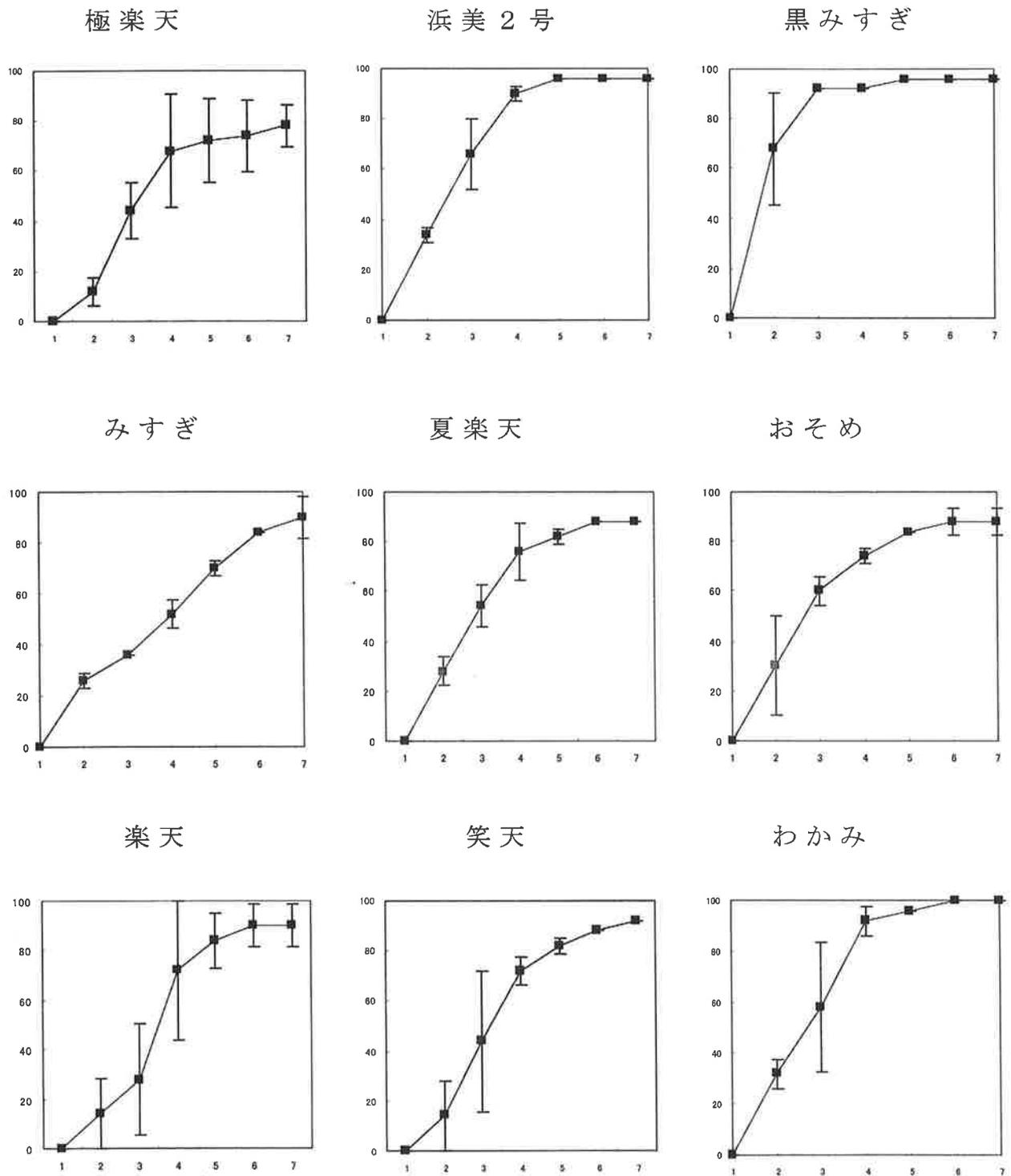


播種後経過時間（時間）

第2-1-1図 異なる温度条件でのコマツナ9品種の発芽率の推移

● ; 15°C, □ ; 20°C, △ ; 25°C, ○ ; 30°C

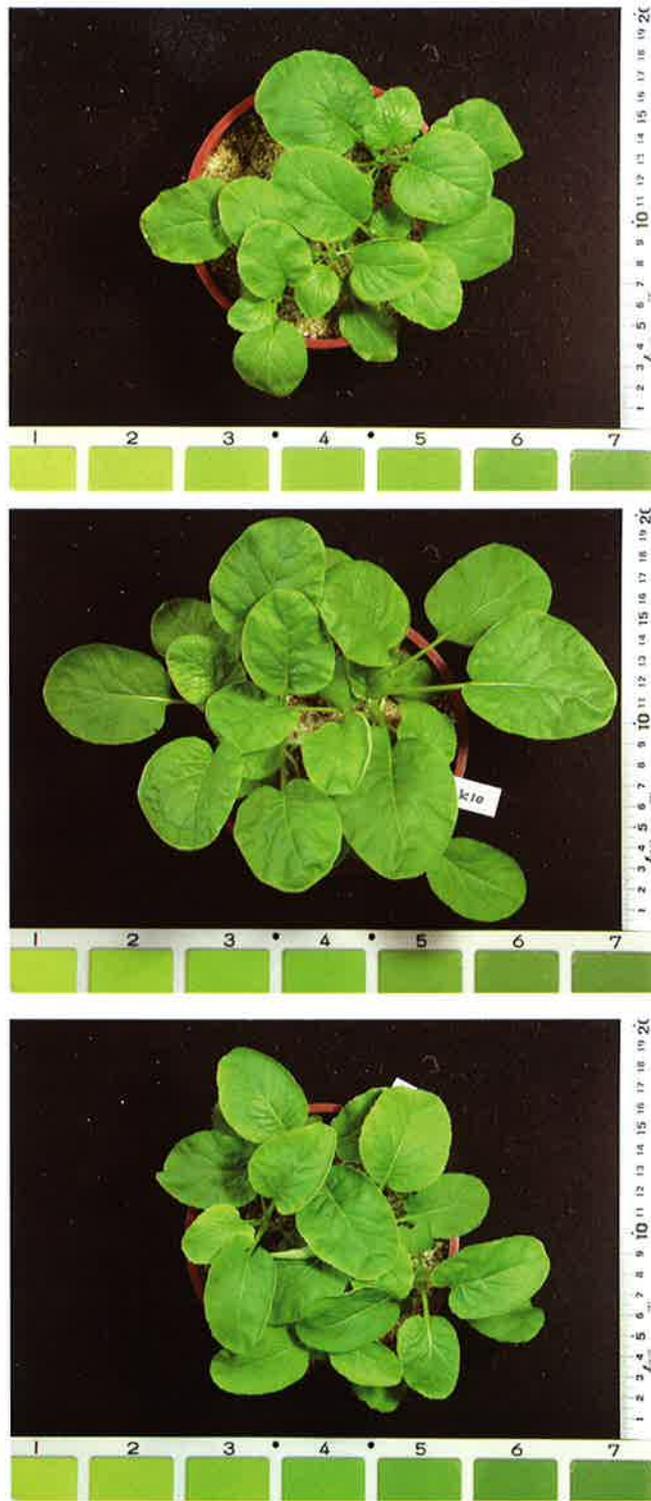
縦軸は発芽率（%）を示す。



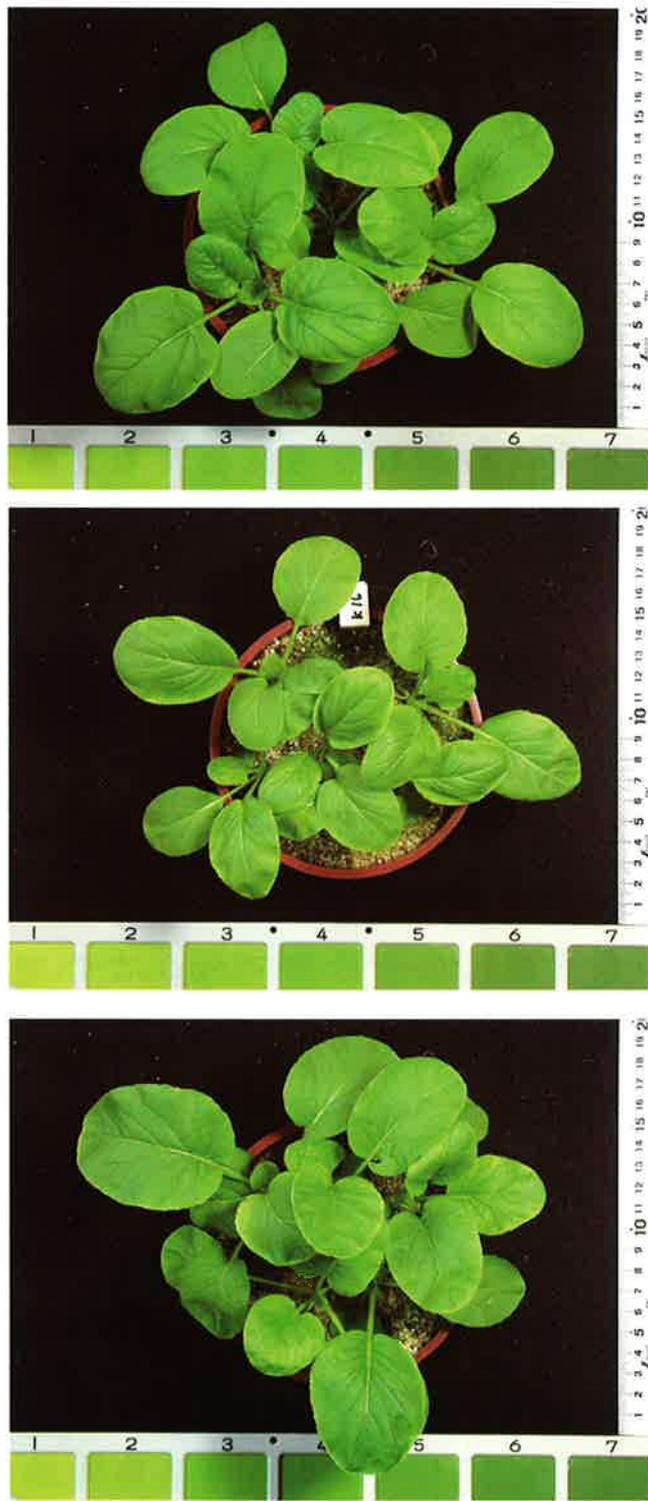
第2-1-2図 播種後7日目までのコマツナ9品種の出芽数の推移  
縦軸は出芽率(%)を示す。



第2-1-3図 播種後3週目におけるコマツナの生育状況(1)  
 上段; 黒みすぎ, 中段; 浜美2号, 下段; みすぎ.



第2-1-4図 播種後3週目におけるコマツナの生育状況(2)  
 上段;わかみ,中段;おそめ,下段;極楽天.



第2-1-5図 播種後3週目におけるコマツナの生育状況(3)  
 上段; 笑天, 中段; 夏楽天, 下段; 楽天.

## 第2節 幼植物試験における播種済みシートの有効性

### 1. 目的

肥料取締法は、肥料の品質を保全し、公正な取引を確保するために1950年に制定されたものである。その後の改正を経て、1999年には堆肥等の品質表示制度の創設や汚泥肥料の登録制への移行を中心に改正が行われた。この中で、汚泥肥料等の登録要件に植害試験が加えられたため、肥料成分の有効性と植物に対する障害性を簡易に評価する幼植物試験（以下、ノイバウエル幼植物試験）の需要が高まるものと考えられる。

この試験方法は、特殊な機器を使用せずに実施できるので、研究機関だけでなく、分析設備を持たない有機質資材の製造所や耕種農家の自給肥料の品質管理に広く活用できるはずである。前述したように、この試験方法における供試作物は「原則としてこまつなとする」とされ、播種量については「試験容器あたり20粒又は25粒とする」、播種方法については「種子が等間隔となるようます目状にピンセット等を用いて行い、は種後、風乾土壌で種子が隠れる程度に覆う」と記載されている。しかし、様々な試験用土あるいは被評価資材を混合した用土を入れたポットに均等な間隔で播種する作業は特に初心者には難しく、個人的な技量が試験成績に影響するおそれがある。一方、圃場レベルで均一に播種を行う方法として、シード・テープ（中村 1985）や不織布マット上に種子を配置した製品（シードグラフ製品説明書 2000）がある。しかし、これらの製品は、大面積での使用を前提にしているため、種子の間隔や素材の強度が

ポット試験には不向きである。このような背景から、ノイバウエル幼植物試験での利便性を高めるためには、播種作業の簡便化が必要であると考えた。そこで作業を簡便にする播種済みシートを作成し、これを利用する手法を検討した。

## 2. 材料および方法

### 1) 播種済みシートの作成方法

試験法によれば、「種子が等間隔となるよう」に播種するように指示されている。しかし、ノイバウエルポットのような円形のポットに等間隔で種子を配置するのは容易ではない。ノイバウエルポットの内径である113mmの円に内接する正方形は、一辺が80mmで、25粒を播種する場合、縁を10mm残すと種子間の距離は15mmとなる。このため、種子の配置はこれを基準に行った。

播種済みシートの作製手順は、事前に播種用シートやトレットペーパー等の水溶性の薄紙に再剥離性を持つスプレー式アクリルゴム接着剤（住友スリーエム社製スプレーのり55）を噴霧して乾かしておく。次に、上記の間隔で窪みをつけた盤上に種子を並べるか、406穴セル成型苗用の播種盤を装着した真空播種機を用いて種子を配置する。次に、配置しておいた種子の上に、先に準備しておいた薄紙を被せ、上から軽く種子を押さえて、ゆっくり剥がす（第2-2-1図）。保存や輸送をする場合にはもう1枚水溶性の薄紙を被せて、種子を挟むようにする。これを種子25粒を包含するように正方形に切りとり、これを播種済みシートとした。なお、本試験では前節で有望とされたコマツナ品種として‘浜美2号’を供試した。

## 2) 各種用土でのコマツナの出芽と生育

植え穴を空けて1粒ずつ播種する場合（以下，従来法）と上記1)で作成した播種済みシートを用いる場合（以下，播種済みシート法）で出芽揃いと生育を比較した。従来法は，ノイバウエルポットに4種の用土（表1）各500mLを入れ，最大容水量の60%の水分量に調整した。それから方眼状に植え穴をあけ，その中に種子を1粒ずつ落とし込み，少量の用土で覆土した。播種済みシート法は，各用土500mLのうち450mLを入れ，最大容水量の約50%になるように水分量を調整した。これに種子25粒を含む播種済みシートを用土の上に敷き，噴霧器（松下電器産業製BH-565B）で水道水を2秒間散布し，残り50mLの用土で十分覆土して，最終的に最大容水量の60%になるまで噴霧器で給水した。なお，供試土の肥料成分が少ないことと緩衝能の低い用土があることから，40日間溶出の肥効調節型肥料（くみあい被覆磷硝安加里424-40，N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:12:14）714mg（窒素として10g m<sup>-2</sup>に相当）を播種前に用土と混和した。

播種に要した時間の測定は，経験者3人を含む成人17人の被験者を使い，従来法では1個のポットに25粒を播き始めから播き終わるまでを，播種済みシート法では5個のポットに各一枚のシートを設置するのに要した時間を測定して，ポット一個当たりの作業時間に換算した。なお，シート自体の作成に要する時間は，作成方法によって大きく異なることから算入しなかった。

栽培管理は以下のように行った。すなわち播種の終わったポットを保湿のためにポリエチレン製ラップを掛けて暗条件にした25℃インキュベータ（日本医化器機製TG-100-AD）に設置し，播種後2日

目にラップをとって無加温ガラス室内に移設した。灌水は土壌表面乾燥時に1日1～4回、噴霧器で重量測定しながら減量分を補った。間引きは播種後5日目までにできるだけ等間隔になるように9株を残して地上部を切り取り、播種後14日目に5株にした。そして播種後21日間栽培を続けた。生育調査は、播種後2日目と3日目に出土数を、播種21日後に最大葉長、葉色、地上部新鮮重を測定した。

### 3. 結果および考察

#### 1) 播種済みシートの作成と利用

播種作業に要した時間は、従来法で平均52秒であったのに対し、播種済みシート法ではポット当たり2.1秒で終了し、個人差も少なかった（第2-2-2表）。特に、従来法は播種用土が種皮と同系色である場合や用土が茶褐色の粒子を含む場合に時間を要するようであった。

#### 2) 各種用土でのコマツナの出芽と生育

播種後2日目の出芽率が低かったのは、従来法で播種した水田土と園芸用土でそれぞれ72、64%となった（第2-2-3表）。播種後3日目には、従来法で播種した園芸用土以外は出芽率が90%を越えた。なお、水田土では、さらに1日遅れで残りの種子が出芽するなど出芽時期にばらつきが見られた。しかし、園芸用土では5日目時点での未出芽種子はその後にも出芽しなかった。試験後に用土内で発根だけした種子が見つかったことから、孔隙の大きい用土内で一時的に種子が乾燥して枯死したようであった。出芽の位置は、園芸用土に従来法で播種した場合に、意図した方眼からのずれが大きかったの

に対し、播種済みシート法では、いずれの用土においても正確な位置から出芽した。このため、その後の間引き作業が容易であった。

コマツナの播種21日後の生育調査結果を第2-2-4表に示す。最大葉長、葉色、地上部新鮮重とも従来法と播種済みシート法の間には有意な差は認められなかった。このことから、播種シートによる作業の簡便化は、栽培試験成績に悪影響を及ぼすことはないことがわかった。このようにして作製された播種済みシートは他のポット試験（植物栄養実験法 1990）にも応用できると考えられ、コマツナよりも種子近傍での水分条件の厳しい「ハウレンソウ」のような種子（A.H.Fitter and R.K.M.Hay 1998）を供試する場合に、より有効であると予想される。

以上の結果から、ノイバウエル幼植物試験における播種済みシートの利用は、播種作業の迅速化に有用であると判断された。

#### 4. 摘要

本節では、ノイバウエル幼植物試験での利便性を高めるために、播種作業の簡便化が必要であると考え、作業を簡便にする播種済みシートを作成し、これを利用する手法を検討した。その結果、播種作業に要した時間は、従来法で平均52秒であったのに対し、播種済みシート法ではポット当たり2.1秒で終了し、個人差も少なかった。また、播種シートによる作業の簡便化は、栽培試験成績に悪影響を及ぼすことはないことがわかった。

第2-2-1表 供試用土の理化学性

用土の種類	pH <sup>a</sup> (H <sub>2</sub> O)	EC <sup>a</sup> dS m <sup>-1</sup>	硝酸態N <sup>a</sup> mg kg <sup>-1</sup>	最大容水量 <sup>b</sup> kg 乾土kg <sup>-1</sup>
砂質黄色土	6.81	0.040	11	0.448
水田土	6.15	0.164	50	0.520
川砂	7.38	0.027	1	0.338
園芸用土 <sup>c</sup>	6.99	0.023	7	2.430

<sup>a</sup> 分析方法は、土壤環境分析法（1997）によった。

<sup>b</sup> 肥料取締法による植物に対する害に関する栽培試験の方法によった。

<sup>c</sup> ピートモス、パーライト、パーミキュライトを容積比5：3：2で混合し、苦土石灰で中和した。

第2-2-2表 播種方法の違いによる播種作業時間の比較 (単位：秒)

播種方法	平均作業時間	最短	最長
従来法	52.0±11.4 <sup>a</sup>	37.0	74.0
播種済みシート法	2.1±0.3 <sup>a**</sup>	1.8	3.0

<sup>a</sup> 平均値±標準偏差.

\*\* 従来法と1%の危険率で有意差のあることを示す.

第2-2-3表 各種用土における播種方法とコマツナの出芽揃い

用土の種類	播種方法	出芽率 (%)	
		播種後 2 日目	3 日目
砂質黄色土	従来法	84	92
〃	播種済みシート法	88	100
水田土	従来法	72	96
〃	播種済みシート法	76	96
川砂	従来法	92	100
〃	播種済みシート法	96	100
園芸用土	従来法	64	88
〃	播種済みシート法	88	100

第2-2-4表 各種用土における播種方法とコマツナの収穫時の生育 (n=20)

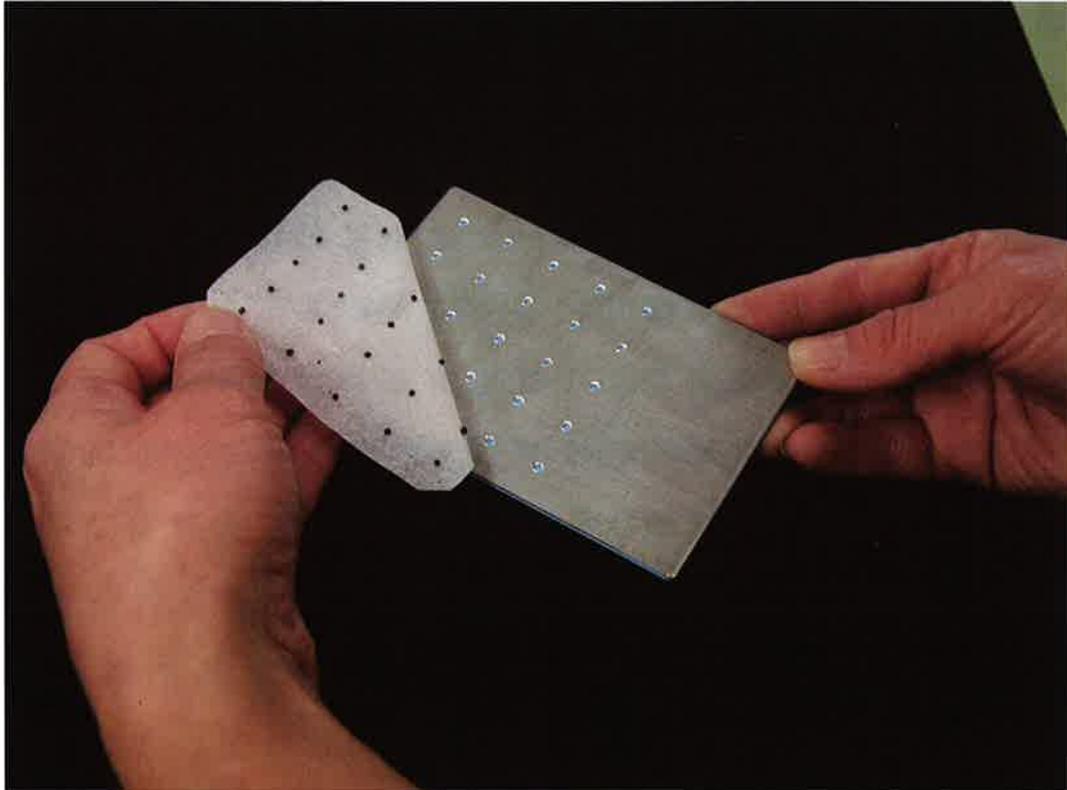
用土の種類	播種方法	最大葉長 <sup>a</sup> mm	葉色 <sup>b</sup> SPAD値	地上部新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>
砂質黄色土	従来法	64±6 <sup>c</sup>	45.4±3.2	0.82±0.14
〃	播種済みシート法	63±6 <sup>n.s.</sup>	45.2±2.4 <sup>n.s.</sup>	0.81±0.12 <sup>n.s.</sup>
水田土	従来法	53±7	46.8±3.6	0.63±0.14
〃	播種済みシート法	55±8 <sup>n.s.</sup>	45.3±2.3 <sup>n.s.</sup>	0.68±0.15 <sup>n.s.</sup>
川砂	従来法	65±6	47.3±4.1	0.85±0.10
〃	播種済みシート法	64±4 <sup>n.s.</sup>	46.6±3.4 <sup>n.s.</sup>	0.84±0.12 <sup>n.s.</sup>
園芸用土	従来法	66±3	45.1±3.7	0.73±0.15
〃	播種済みシート法	64±5 <sup>n.s.</sup>	46.7±3.4 <sup>n.s.</sup>	0.71±0.12 <sup>n.s.</sup>

<sup>a</sup> 最大葉の葉柄基部から葉身の先端までの長さ

<sup>b</sup> ミノルタ製の葉緑素計SPAD-502を用いて最大葉の主葉脈と葉縁の中間で測定した。

<sup>c</sup> 平均値±標準偏差。

<sup>n.s.</sup> 同じ用土間において従来法と5%の危険率で有意差のないことを示す。



第2-2-1図 水溶性紙に接着されたコマツナ種子と播種盤

### 第3章 装置化による栽培環境の安定

有機質資材の品質を統一的に検定することは困難であり（井ノ子1982）、3週間を要するとはいえ、実際に植物を栽培して影響を判定する方法は、農業者の理解を得やすく実地的である。この点、幼植物試験法は、特殊な機器を使用せずに実施できるので、分析設備を持たない有機質資材の製造所や耕種農家の自給肥料の品質管理に広く活用できるものである。しかし、これまで装置化が検討されなかったために、栽培条件の違いによって結果が異なる可能性がある。このため、簡易な装置化によって、安定した試験成績が得られるようになれば、農業資材の公正な評価につながると考えられる。本章では、小規模の栽培環境を構築し、底面に排水孔を持たないノイバウエルポットの自動灌水システムについて検討した。

## 第 1 節 装置化による光環境と地温の安定

### 1. 目的

土壌に施用する有機質資材の検定法が，種々提案されている．しかし，多様化する有機質資材の品質を統一的に検定することは困難であり（井ノ子 1982），時間を要するとはいえ，実際に植物を栽培して効果を判定する方法は，実際的である．しかし，栽培試験の結果は環境に左右され，中でも温度や光の影響が大きい（Gates 1980; Morgan and Smith 1976, 松本 1987）．光源を持つ実験室レベルの装置は広く普及しているものの，培養実験に対応した低照度で小型の装置が多く，高照度で大型の装置は高価である．このような状況に対して，経済性の高い植物工場の構成という観点から，家庭用空調機や蛍光灯を利用した安価な構成が提案されている（古在ら 2000）．この考え方を試験装置に適用すると，厳密な環境調節はできないまでも，検査機関や生産現場で利用できる栽培装置が構築できると考えられる．

一方，1999年に改正された肥料取締法では，堆肥等の品質を保全するための登録要件に，広くノイバウエル幼植物試験が課されるようになった（福永 2000）．この試験法は，小型の有底ポットに目的資材を混和した土壌を入れ，コマツナを3週間栽培するというものである．温度管理については，「原則として摂氏15度から25度までの範囲内に保つものとする」とだけ記されていて，温室等で栽培することを想定しているためか照度についての記述はない．

これらのことから，地温の制御と幼植物の栽培に必要な照明を具

備した簡易な装置によってコマツナの生育を安定化させる環境を構築することにした。

## 2. 材料および方法

### 1) 土壌温度の安定化

土壌に施用される肥料や有機質資材の効果は地温の影響を強く受ける。このため、密閉度の低い栽培環境を安価に構成するためには、栽培容器を水浸して、水温を制御するのが簡便と考えられる。そこで、水槽（ポリプロピレン製、内寸幅530×奥行345×深さ90mm）に150Wヒーター（EX-003観賞魚飼育屋内水槽専用ヒーター、ジェックス（株）製）と最少吐出量毎分2.5Lの循環ポンプ（ワイズミクロ屋内水槽専用、ジェックス（株）製）を取り付け、地温25℃を目標にして温度制御を行った。栽培容器はスチロール製のノイバウエルポット（内法面積100cm<sup>2</sup>、外径121mm、高さ70mmの有底円筒形ポット）とし、川砂（CoS）500mLと最大容水量の60%に相当する水を入れたものを8個準備した。これらのポットをステンレス製の網棚に載せ、前述の水槽に浸漬し、ポット内の用土表面と同じ高さになるように水位を調節した。この水槽を後述の照明付きフレームに入れ、1日12時間照明できるようにタイマーを付けた。蛍光灯の発熱対策と栽培スペースの空気の循環のために、フレーム上側面2か所と背面1か所にファンを付けた。排気量は、毎秒1Lであった。地温は、温度記録装置（RT-30S型、タバイエスペック製）のセンサー部を各ポットの中央、深さ25mmに埋設し、1時間間隔で記録した。調査時の室温の条件は、広さ18.5m<sup>2</sup>、天井高2.4mの部屋において、家庭用

空調機（FHY35B，ダイキン製）を作動させていない場合と，温度調節目盛りを23℃に設定して作動させた場合とで比較測定した．

## 2) 照度の確保

照明付きフレームは，外寸が幅670×奥行460×高さ740mmで，20W型直管白色蛍光灯（FL20SS・W/18，東芝製）6本をノイバウイエルポットの上端から220mmの高さに設置した．フレームの前後左右を黒色または白色のビニルシートあるいは無塗装のアルミ板で囲い，蛍光灯の下端から220mmの距離における水平照度を照度計（TRL-10型，タバイエスペック製）を用いて，50mmの正方形単位で測定した．

# 3. 結果および考察

## 1) 土壌温度の安定化

空調機作動条件下で，水槽に入れた8個のポットの地温は，どの位置においても23℃から25℃に制御された（第3-1-1図）．また，室温の日較差は，空調機を作動させることによって約4℃になった．照明付きフレーム内に設置したポット上面（葉温に相当）の温度は，空調機を作動させていない隣室の場合に15℃前後に低下したが，空調機を作動させた場合には約24℃に保たれた（第3-1-2図）．

これによって，有機質資材や温度に依存して肥料成分が溶出する肥効調節型肥料の評価が可能になると考えられた．

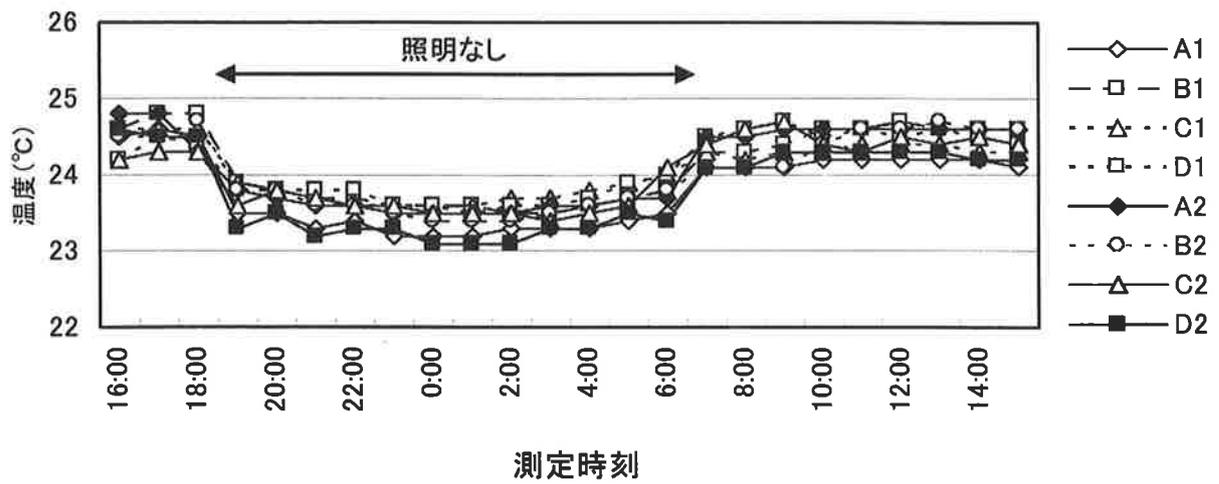
## 2) 照度の確保

照明付きフレーム内の照度は，中央部の照度が10000lxを超え，

コマツナの栽培に十分なものとなった（第3-1-3図）。若干周辺部の照度が劣るため、ポット位置をローテーションをすることが望ましいと考えられた。

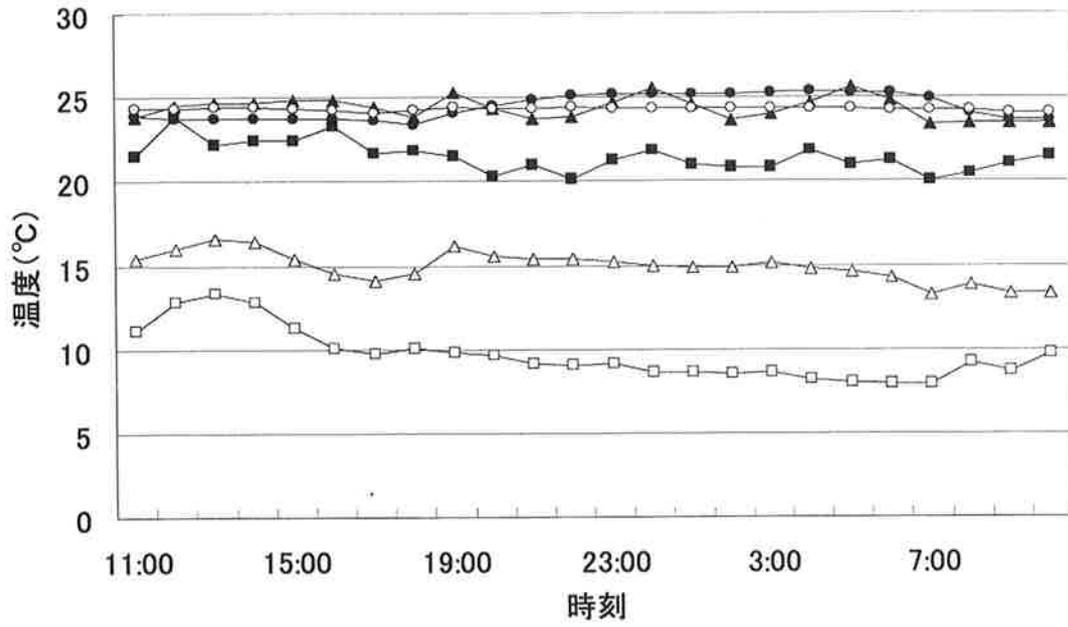
#### 4. 摘要

有機質資材の品質を統一的に検定することは困難であり、3週間を要するとはいえ、実際に植物を栽培して影響を判定する方法は、農業者の理解を得やすく実地的である。この点、ノイバウエル幼植物試験は、特殊な機器を使用せずに実施できるので、分析設備を持たない有機質資材の製造所や耕種農家の自給肥料の品質管理に広く活用できるものである。しかし、これまで装置化が検討されなかったために、栽培条件の違いによって結果が異なることがあった。このため、簡易な装置化を検討することにより、コマツナの栽培に必要な温度と照度を確保できる装置が構築できた。



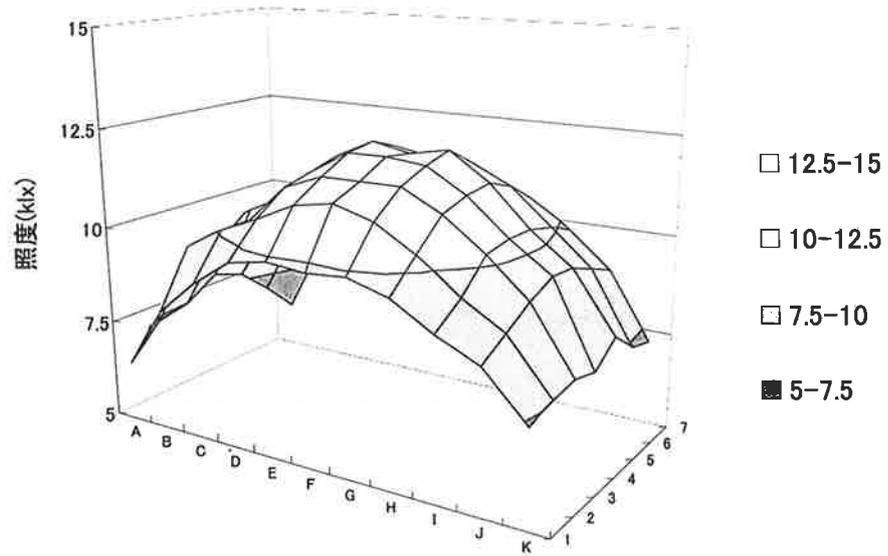
第3-1-1図 配置の異なるポット内地温の推移

A1からD2の記号は，ポットの配置を示す．



第3-1-2図 空調による栽培槽内温度の安定

■ ; 空調室温, ● ; 空調水温, ▲空調葉温  
 □ ; 隣室室温, ○ ; 隣室水温, △隣室葉温



第3-1-3図 装置化による装置内の照度分布

## 第 2 節 塩類の影響を受けない水分センサーの開発

### 1. 目的

作物栽培中の圃場での土壌水分測定は、非破壊で継続的に計測ができることが望ましく、比誘電率法（波多野 1995, 堀野・丸山 1992, Topp, G. C., Davis, J. L. and Annan, A. P. 1980, 1982）、土壌感圧水分センサー法（井上 1998, 遠藤ら 2003）、中性子法（吉村 1997）等が使われている。比誘電率法はこれらの中でも汎用性が高い測定法である。しかし、この方法は土壌に埋設した電極間の応答を測定しているため、高塩類土壌など測定対象の電気伝導度が高い場合には補正が必要であるとされている（井上 2003, 中島 1998）。

一方、農産物の水分定量法として近赤外分光法が知られており（河野 1996, Williams, P., and Norris, K. 1987）、土壌水分測定への適応についても報告されている（Bowers, S. A. and Smith, S. J. 1972, Dalal, R. C. and Henry, R. J. 1986, 松永 1992）。この方法は、水が近赤外域の特定の波長を吸収することを利用して、溶存する無機塩類の影響を受けにくいと考えられる。しかし、これまでの報告は、土壌に含まれる多成分の同時定量に関するものが多く、水分の実時間計測技術としての検討は少ない。また、化学肥料の添加による測定への影響や海水など塩水灌漑条件下での利用については検討されていない。近年、光源に水分計測に特化した1450nm付近の発光ダイオードを用いた小型の装置が開発された（内山 2003）ことから、塩類土壌において使用できる新たな水分計測手法が開発

される可能性がある。また，ポット用の灌水装置として吸湿性の紐を利用した方法（六本木 2001）が提案されているが，半閉鎖系であるノイバウエルポットには対応できない。そこで，この光学式センサーを応用して，これまで自動化が困難であったノイバウエルポットの自動灌水を試みた。

## 2. 材料および方法

### 1) 光学式水分センサーの概要

供試した光学式水分センサー（株式会社フジワーク製，SH-1202L）の仕様を第3-2-1表に示す。センサーヘッド部には，1300と1450 nmの2種類の赤外発光ダイオードが組み込まれている。1300 nmは参照光で測定対象の色や表面状態等の外乱要因の低減に利用され，水分に吸収される波長として1450 nmを利用している。受光素子と測定面の距離は40 mmで，その間は遮光のためのフードで覆われており，フードの縁だけが測定対象と接触する（第3-2-1図）。重量はセンサーヘッド部とコントロール部とを合わせて1.77 kgである。発光ダイオードを使用しているために，センサーは消費電力が7.5 Wという小型の装置である。

### 2) 供試土壌における検量線の作成

検量線の作成には，川砂を供試した（第3-2-2表）。風乾した土壌を2 mmφ丸孔篩を通し，105℃で48時間乾燥した後，乾燥剤を入れたデシケータ中で室温にしたものを乾土とした。この乾土100 gを密封できるポリプロピレン製容器（小型タッパ，縦65 mm，横105

mm, 深さ30 mm) に入れ, 0.025から0.175 kg kg<sup>-1</sup>の蒸留水を添加することで水分調整を行い, 上面に光学式水分センサーのフードを密着させ, 表示値を読み取った. 測定は位置を変えて8か所で行った. 測定後, 乾土を調整したのと同じ方法で水分を測定し, 乾熱重量法による含水比とした.

### 3) 塩類添加の影響

化学肥料として農業上一般的に利用されている4種の塩類と塩化ナトリウムを試薬で供試した(第3-2-3表). これらの塩類を, それぞれ0.1 mol L<sup>-1</sup>の水溶液にし, この水溶液を前出の供試川砂に0.025から0.175 kg kg<sup>-1</sup>添加した. 測定は, 前記と同じ方法で行った.

### 4) 海水およびその希釈液の影響

灌漑水として特に高濃度の塩類が含まれるモデルとして, 海水およびその希釈液(第3-2-4表)で水分調整を行った場合について, 光学式水分センサーと比誘電率水分計(大起理化工業株式会社製DIK311A)による計測値を比較した. 光学式水分センサーによる測定は, 前記の方法に準じ第3-2-5表に示した供試液を0.1 kg kg<sup>-1</sup>添加して行った. 比誘電率水分計による測定は, 500 mL容ガラス製トールビーカー(内径70 mm, 深さ150 mm)に第3-2-4表に示した供試液を0.1 kg kg<sup>-1</sup>添加して水分調整を行った供試川砂(乾土として500 g)を充填し, 上面中央付近に電極を挿入して行った. 測定は, それぞれ8回繰り返して行い, 出力電圧を記録した.

### 5) 栽培試験

光学式センサーを応用して、自動灌水装置を試作した。中央部にセンサーを設置したノイバウエルポットに川砂450mLを入れ、最大容水量の60%の水分量に調整した。センサーの周囲にコマツナ種子(品種；浜美2号)を9粒播種し、覆土した。手灌水はセンサーと同容積のガラス製サンプル瓶を同じくポット中央に設置し、自動灌水と同様に播種した。なお、施肥は、緩衝能の低い用土があることから、40日間溶出の肥効調節型肥料(くみあい被覆燐硝安加里424-40, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:12:14) 714mg(窒素として10g m<sup>-2</sup>に相当)を播種前に用土と混和した。

### 3. 結果および考察

#### 1) 供試土壌における検量線の作成

光学式水分センサーの指示値と乾熱重量法で得られた含水比の関係を第3-2-2図に示す。設定した0.025から0.175 kg kg<sup>-1</sup>の範囲の含水比において両者は、ほぼ直線上にプロットされた。

#### 2) 塩類添加の影響

1)で得られた蒸留水で調整した場合の測定値と各種塩類の水溶液で調整した場合の測定値の間には危険率が0.05で有意な差は認められなかった(第3-2-5表)。このことから、光学式水分センサーは主要な肥料塩である硫酸アンモニウム、尿素、塩化カリウム、硫酸マグネシウムについて、0.1 mol L<sup>-1</sup>の水溶液を0.025から0.175 kg kg<sup>-1</sup>の範囲で添加しても影響を受けないことが明らかになった。また、同じ濃度の塩化ナトリウムの影響も受けなかった。

### 3) 海水およびその希釈液の影響

2種類のセンサーによる測定結果は大きく異なった。光学式水分センサーは、海水濃度の影響が認められず、海水原液で水分調整をした場合でも、蒸留水で水分調整をした場合と同様の結果であった。しかし、比誘電率水分計は海水濃度の影響を受け、海水の10倍希釈液および海水原液で水分調整した時の出力電圧値は、蒸留水で水分調整した時より、それぞれ1.20倍と1.85倍高い値を示した（第3-2-6表）。このことから、光学式水分センサーは、海水と同等の濃度の塩水灌漑が行われるような条件でも、出力値の補正をすることなく水分測定が可能であると考えられる。

### 4) 栽培試験

光学式水分センサーを応用した自動灌水装置を用いて栽培したコマツナの株径の推移（第3-2-7表）と生育調査結果（第3-2-8表）を示す。ヒステリシスを設定しないで栽培するとコマツナの生育は有意に手灌水に劣った。これは、本センサーの感度が高いため、常時コマツナの根域が湿潤な条件になったためではないかと考えられた。これに対し、ヒステリシスを設定し、灌水指令に幅を持たせると、コマツナの生育は手灌水と同等になった（第3-2-8表，第3-2-3図）。

近赤外分光法では、幅広い波長を持つ光源を使用して複数の波長の吸光度から各種成分を推定するような使い方が一般的である（河野 1996）。このため、近赤外領域で大きな吸収を持つ水の存在は、むしろ目的物測定の障害になっている面がある。澁澤ら（1999）は、

波長が400～2400 nmの小型ハロゲンランプを光源に用い，センサー部を土中に貫入・移動させて水分をはじめとする情報を収集するシステムを考案している．李ら（2000）は，澁澤らの情報収集システムを念頭に置いて，土壌の含水比，有機物含量，硝酸態窒素，電気伝導度，pHに関するキャリブレーションを試みている．しかし，このような多成分分析を重視した大型の装置の場合，圃場内を移動させながら情報収集したのでは，作物の栽培中に非破壊測定ができない．本試験で検討した光学式水分センサーは，波長を光源側で水分測定に特化しているため，装置が簡単で小型化が容易である．また，将来的に灌水装置との接続を目標にすると，市販の自動灌水装置に見られるように，小型のセンサーを必要数土壌に埋設する方が実用的であると考えられる．

今回検討したのは，土壌粒子内にほとんど水を含まない川砂の場合であり，有機質を含む土壌については今後の検討課題である．しかし，光学式水分センサーは，土壌中の塩類濃度が高くなりがちな施設栽培（谷本 1991）や乾燥地（松本 1991）における水分測定法として有効であると同時に，養水分の緩衝能が小さいために塩類の影響が大きく変化する砂質土壌での自動灌水装置への応用が期待される．

#### 4. 摘要

従来，圃場レベルでの土壌水分測定法として使われている比誘電率式の水分計は，塩類濃度が高い場合に補正が必要なことが知られている．このため，近赤外分光法を応用し，水の吸収波長である14

50 nmの発光ダイオードを光源にして，その反射光を測定する光学式センサーを用いて，塩類を添加した川砂の水分測定を行った．その結果，このセンサーは $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ 濃度に調整した硫酸アンモニウム，尿素，塩化カリウム，硫酸マグネシウムの各肥料塩溶液，および塩化ナトリウムの同濃度溶液の影響を受けなかった．また，海水の原液や10，100，1000倍希釈液を $0.1 \text{ kg kg}^{-1}$ 添加した場合に，比誘電率法では高濃度になるほど影響を強く受けたのに対して，このセンサーは，海水濃度に関係なく影響を受けなかった．これらの結果から，この水分センサーは塩類濃度が高い砂質土壌で使用できる水分測定手法になる可能性を認めた．

また，光学式水分センサーを応用した自動灌水装置を用いてコマツナを栽培したところ，ヒステリシスを設定しないで栽培するとコマツナの生育は有意に手灌水に劣った．これは，本センサーの感度が高いため，常時コマツナの根域が湿潤な条件になったためではないかと考えられた．これに対し，ヒステリシスを設定し，灌水指令に幅を持たせると，コマツナの生育は手灌水と同等になった．

第3-2-1表 光学式水分センサーの仕様

---

センサーヘッド部

発光素子	LED 1300, 1450nm
受光素子	InGaAs
測定径	10mm φ
重量	0.47kg
寸法	80(W) × 35(D) × 82(H)mm

コントローラー部

電源	100V ± 10%
消費電力	7.5W
重量	1.3kg
寸法	216(W) × 170(D) × 44(H)mm

---

第3-2-2表 供試土壤の理化学的性質

土壤	土性	pH <sup>a</sup> (H <sub>2</sub> O)	EC <sup>a</sup> dS m <sup>-1</sup>	容積重 <sup>a</sup> kg L <sup>-1</sup>	最大含水量 <sup>b</sup> kg kg <sup>-1</sup> 乾土
川砂	S	7.38	0.027	1.31	0.338

<sup>a</sup> 分析・測定方法は，土壤環境分析法に依った。

<sup>b</sup> 測定方法は，肥料取締法の方法に依った。

第3-2-3表 供試塩類水溶液の電気伝導度

添加塩類 <sup>a</sup>	分子式	分子量	0.1mol L <sup>-1</sup> 水溶液の 電気伝導度 <sup>b</sup> dS m <sup>-1</sup>
蒸留水（対照）	—	—	(0.001)
硫酸アンモニウム	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132.14	18.66
尿素	NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	60.06	0.002
塩化カリウム	KCl	74.56	12.05
硫酸マグネシウム	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	246.48	9.45
塩化ナトリウム	NaCl	58.44	10.03

<sup>a</sup> 試薬1級を使用した。

<sup>b</sup> 堀場製ECメーター，DS-15で測定した。

第3-2-4表 供試海水<sup>a</sup>とその希釈液の電気伝導度

希釈倍率	電気伝導度 <sup>b</sup> dS m <sup>-1</sup>
原液	42.7
10倍	5.33
100倍	0.602
1000倍	0.065

<sup>a</sup> 2003年7月鳥取県日吉津村の海岸で表層水を採取した。

<sup>b</sup> 堀場製ECメーター，DS-15で測定した。

第3-2-5表 各種塩類の0.1mol L<sup>-1</sup>水溶液を添加したときの水分センサー指示値

添加塩類	0.1mol L <sup>-1</sup> 水溶液の添加量(kg kg <sup>-1</sup> )					
	0.025	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175
蒸留水(対照)	1201±49	1429±41	1524±31	1623±25	1681±26	1841±63
硫酸アンモニウム	1180±30	1463±37	1528±37	1616±51	1692±50	1832±75
尿素	1169±31	1382±42	1526±28	1625±32	1694±50	1811±75
塩化カリウム	1190±36	1430±52	1528±45	1571±42	1684±60	1790±40
硫酸マグネシウム	1187±49	1442±42	1533±41	1654±59	1711±37	1803±71
塩化ナトリウム	1192±28	1390±44	1590±39	1655±34	1734±69	1832±90

数字は、平均±標準偏差(n=8).

蒸留水を添加した場合と有意な差(危険率=0.05)を示す塩類は無かった.

第3-2-6表 海水とその希釈液で水分調整した場合の水分センサーの応答

測定方法	蒸留水	海水の希釈倍率			原液
		1000倍	100倍	10倍	
比誘電率式 (mV)	0.255±0.017	0.252±0.012	0.251±0.018	0.307±0.024 <sup>a</sup>	0.471±0.018 <sup>a</sup>
光学式 (指示値)	1524±31	1527±51	1538±49	1535±35	1540±45

数字は、平均±標準偏差(n=8).

<sup>a</sup> 蒸留水を添加した場合の応答と有意な差がある(危険率=0.01).

第3-2-7表 灌水方法の違いがコマツナ生育に及ぼす影響

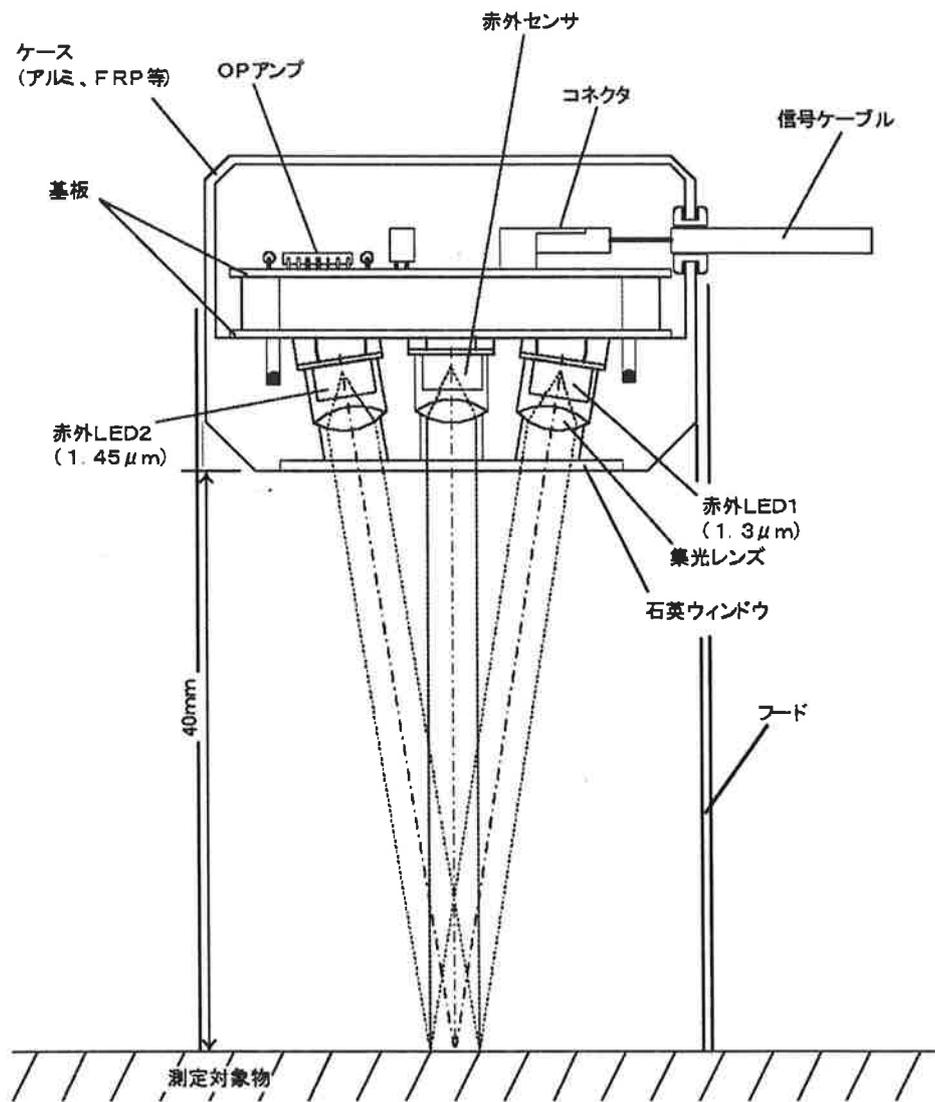
試験区	株径 (mm)		
	1 週目	2 週目	3 週目
(ヒステリシスなし)			
手灌水	-	79 ± 9	110 ± 21
自動灌水	-	51 ± 14	90 ± 16
(ヒステリシスあり)			
手灌水	26 ± 2	63 ± 13	94 ± 11
自動灌水	26 ± 2	71 ± 6	98 ± 11

n = 9 , 平均 ± 標準偏差

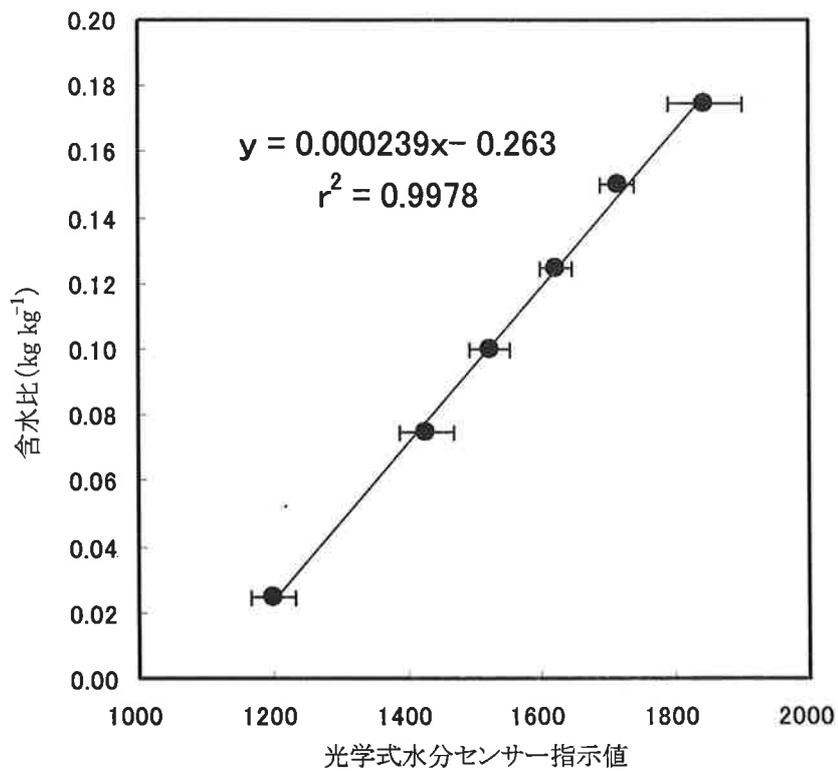
第3-2-8表 灌水方法の違いがコマツナ生育に及ぼす影響  
(収穫時調査)

試験区	最大葉長 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
(ヒステリシスなし)				
手灌水	85±14	48.8±3.1	1.88±0.78	0.220±0.018
自動灌水	73±13	46.6±3.4	1.03±0.44	0.133±0.011
(ヒステリシスあり)				
手灌水	69±7	55.0±2.8	1.28±0.40	0.180±0.048
自動灌水	73±4	55.1±3.1	1.22±0.33	0.172±0.064

n = 9, 平均±標準偏差



第3-2-1図 光学式水分センサーの測定模式図



第3-2-2図 川砂の含水比と光学式水分センサー指示値の関係  
含水比は乾熱重量法（105℃，48時間）による。  
誤差範囲は，各含水比の標準偏差（n=8）を示す。



第3-2-3図 光学式水分センサーを利用した自動灌水装置で栽培したコマツナ（播種後21日目）  
左；手灌水，右；自動灌水（ヒステリシスあり）。

## 第4章 分析的手法と幼植物試験の比較

緒言で述べたように、農業生産において窒素は植物養分として最も重要な成分である。土壌中の可給態窒素評価については数多くの研究がある。可給態窒素の分析的な手法としては、土壌抽出液に含まれる硝酸態やアンモニア態窒素を測定する方法、微生物による影響を加味したものとして一定期間土壌をインキュベーションする方法等が行われている。特に、農耕地の可給態窒素の指標として定着しているのは無機態窒素を定量する方法で、短時間で安定した評価が得られる。しかし、近年、肥効調節型肥料が普及したことや堆肥等の有機質資材の効果を見直す機運が拡がり、土壌中の窒素栄養が必ずしも硝酸態窒素含量だけで評価しにくい場面が増加してきた。一方、わが国の肥料取締法では、肥料の安全性を確保するために植物を使った試験方法が規定されていて、コマツナを用いた幼植物試験を評価手法のひとつとして重視する方向を示している。

本章では、平準化された栽培条件で幼植物試験を行い、従来法である硝酸態窒素の定量やインキュベーションによる可給態窒素の評価と幼植物試験の結果を比較しすることで栽培試験の有用性について検討することにした。

## 第 1 節 未耕作土壌における幼植物試験の意義

### 1. 目的

これまでも述べたように，農業生産において窒素は植物養分として最も重要な成分であり，土壌中の可給態窒素評価については窒素無機化速度に関するものを含めて数多くの研究がなされてきた．可給態窒素の分析的な手法としては，土壌抽出液に含まれる硝酸態やアンモニア態窒素を測定する方法等が行われている．本節では，未耕作土壌を培地として，農耕地の可給態窒素の指標として定着している硝酸態窒素を定量する方法とインキュベーションによる方法と幼植物試験による方法の三者を比較することで，栽培試験に伴う可給態窒素の評価の意義について明らかにした．

### 2. 材料および方法

#### 1) 供試堆肥と試験区

新潟県畜産研究センターで作製された原料の異なる 3 種の牛糞堆肥（第 4-1-1 表）を供試した．これらの堆肥は品質保持のため，製造後凍結乾燥し（藤原ら 2003），試験に供するまで冷蔵庫で保管した．試験区は未耕作土壌である花崗岩風化土（第 4-1-2 表）に 3 種の堆肥（標準区では，それぞれ全窒素で  $100\text{mg pot}^{-1}$  に相当），を添加した（第 4-1-3 表）．ポット試験は 2 連で行った．

なお，一作目が終了した後，2 週間  $25^{\circ}\text{C}$  に置いて，再度播種することで残効を確認した．

## 2) 耕種概要

ノイバウエルポットに未耕作土壌である花崗岩風化土の各用土500mLのうち450mLを入れ，最大容水量の約50%になるように水分量を調整した．コマツナ（品種；浜美二号）の種子12粒を播種し，噴霧器（松下電器産業製BH-565B）でイオン交換水を2秒間散布し，残り50mLの用土で十分覆土して，最終的に最大容水量の60%になるまで噴霧器で給水した．なお，供試堆肥は播種直前に用土と混和した．播種の終わったポットは保湿のためにポリエチレン製ラップを掛けて暗条件にした25℃インキュベータ（コイトロン）に設置し，播種後2日目にラップをとって蛍光灯による照明を1日あたり12時間行った．灌水は1日1～2回，重量測定しながら噴霧器で減量分を補った．間引きは播種後5日目までにできるだけ等間隔になるように9株を残して地上部を切除し，播種後21日間栽培を続けた．生育調査は，播種後7日目と14日目に株径を，播種21日後に株径，最大葉長，葉色，地上部新鮮重，地上部乾物重を測定した．

## 3) インキュベーション試験

栽培試験と同様の畑水分条件（最大容水量の60%に水分調整）で上記3種の牛ふん堆肥を添加して25℃に保温静置．1週間ごとに無機態窒素を定量し，4週間継続した．

## 3. 結果および考察

播種後，3週間にわたってコマツナの株径は第4-1-4表のように推移した．また，収穫時の生育は堆肥の種類によって特徴があり，

堆肥 T43 や T48 は，窒素全量を堆肥で供給すると，硝酸カルシウムで窒素の半量を補ったものや窒素の全量を硝酸カルシウムで施用したものと同等の生育を示した（第 4-1-5 表，第 4-1-2，4，5 図）．堆肥 T47 は，窒素全量を堆肥で供給すると，硝酸カルシウムで窒素の半量を補ったものより生育が劣った（第 4-1-5 表，第 4-1-3 図）．なお，いずれの試験区でも，残効がほとんど認められなかったことから（第 4-1-5，6 表），これらの牛糞堆肥の実質的な窒素の肥効は，施用後 3 週間の幼植物試験で評価できるものと考えられた．

#### 4. 摘要

未耕作土壌を培地として，農耕地の可給態窒素の指標として定着している硝酸態窒素を定量する方法，インキュベーションによる方法，幼植物試験による方法の三者を比較することで，栽培試験が可給態窒素の評価においてどのような意義があるのかについて検討した．その結果，全窒素量を等しくした牛糞堆肥において，肥効が異なり，硝酸カルシウムに相当する肥効を示す堆肥があった．また，再播種してコマツナを栽培した結果，残効はほとんど認められなかったことから，供試した牛糞堆肥の実質的な窒素の肥効は，施用後 3 週間の幼植物試験で評価できるものと考えられた．

第4-1-1表 供試した牛糞堆肥の内訳と含有窒素成分

堆肥番号	堆肥の内訳	含有成分 mg g <sup>-1</sup> DM	
		無機態窒素	全窒素
T43	乳牛ふん肉牛ふんモミガラ堆肥	3.5	21
T47	乳牛ふんモミガラ堆肥	0.5	17
T48	乳牛ふんおがくずモミガラ堆肥	2.5	32

第4-1-2表 供試した未耕作花崗岩風化土の理化学性

用土の種類	pH <sup>a</sup> (H <sub>2</sub> O)	EC <sup>a</sup> dS m <sup>-1</sup>	硝酸態N <sup>a</sup> mg kg <sup>-1</sup>	最大容水量 <sup>b</sup> kg 乾土kg <sup>-1</sup>
中粗粒黄色土	6.81	0.040	11	0.51

第4-1-3表 コマツナ幼植物試験一覽

試験区	添加資材	資材添加量 g pot <sup>-1</sup>	硝酸カルシウム g pot <sup>-1</sup>
T43標準	牛糞堆肥 T43	4.85	0
T43半量	牛糞堆肥 T43	2.43	0
T43半量+	牛糞堆肥 T43	2.43	0.072
T47標準	牛糞堆肥 T47	6.06	0
T47半量	牛糞堆肥 T47	3.03	0
T47半量+	牛糞堆肥 T47	3.03	0.072
T48標準	牛糞堆肥 T48	3.11	0
T48半量	牛糞堆肥 T48	1.55	0
T48半量+	牛糞堆肥 T48	1.55	0.072
化成標準	なし	0	0.144
化成半量	なし	0	0.072

第4-1-4表 コマツナ株径の推移

試験区	株径 (mm)		
	1 週目	2 週目	3 週目
T43標準	22 ± 2	64 ± 6	73 ± 8
T43半量	24 ± 2	53 ± 6	58 ± 6
T43半量+	23 ± 3	56 ± 8	72 ± 12
T47標準	19 ± 2	29 ± 4	42 ± 5
T47半量	18 ± 1	28 ± 2	39 ± 4
T47半量+	20 ± 2	33 ± 7	46 ± 7
T48標準	20 ± 2	51 ± 6	60 ± 6
T48半量	21 ± 2	41 ± 5	50 ± 6
T48半量+	20 ± 2	51 ± 6	61 ± 7
化成標準	21 ± 2	59 ± 8	77 ± 13
化成半量	22 ± 2	45 ± 9	60 ± 10

n = 18, 平均 ± 標準偏差

第4-1-5表 コマツナ生育に及ぼす影響（収穫時調査）

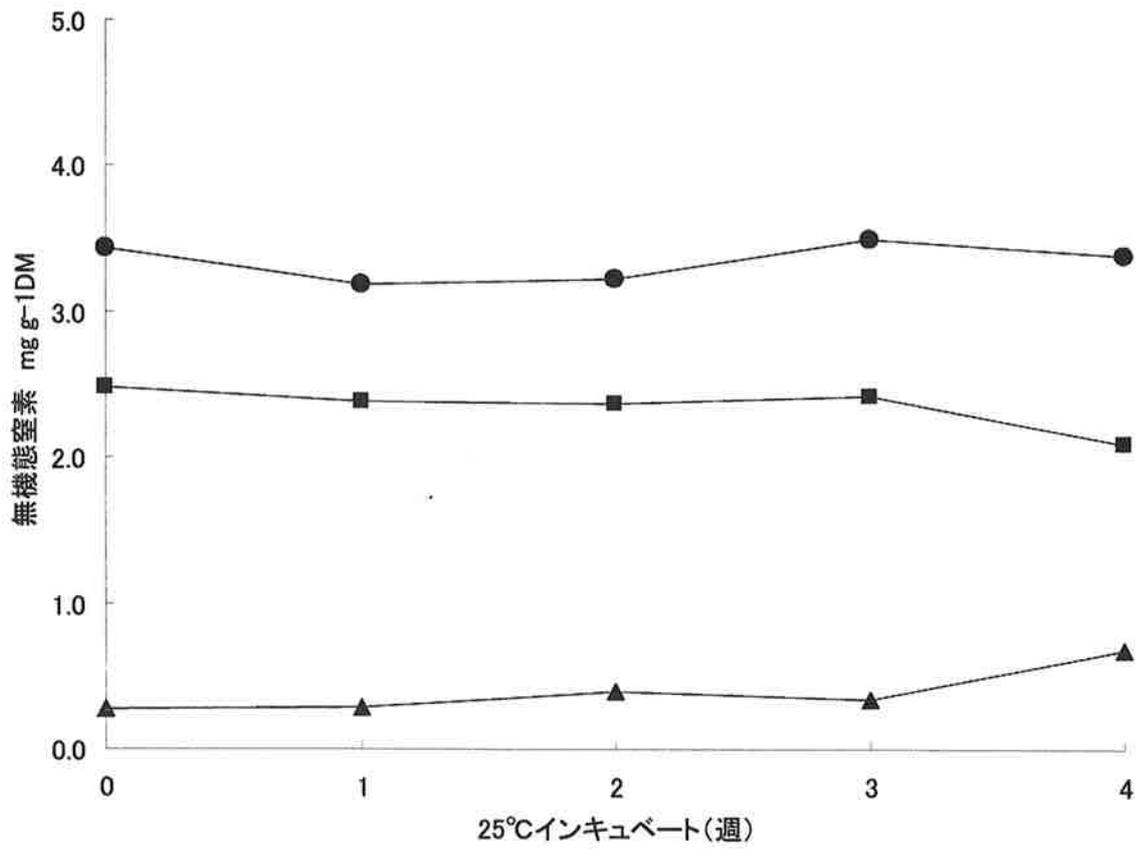
試験区	最大葉長 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
T43標準	54 ± 4	36.3 ± 2.5	0.69 ± 0.11	71
T43半量	44 ± 3	33.9 ± 2.7	0.46 ± 0.09	53
T43半量+	52 ± 5	38.3 ± 2.4	0.70 ± 0.17	67
T47標準	28 ± 3	32.9 ± 2.6	0.21 ± 0.04	26
T47半量	26 ± 2	33.3 ± 2.8	0.18 ± 0.02	23
T47半量+	31 ± 5	34.5 ± 2.6	0.28 ± 0.07	32
T48標準	45 ± 4	32.7 ± 1.5	0.46 ± 0.07	54
T48半量	35 ± 4	33.1 ± 2.7	0.29 ± 0.07	37
T48半量+	44 ± 3	33.9 ± 2.6	0.47 ± 0.09	55
化成標準	56 ± 7	37.2 ± 3.6	0.70 ± 0.25	70
化成半量	43 ± 7	34.1 ± 2.2	0.45 ± 0.13	54

n = 18, 平均 ± 標準偏差

第4-1-6表 コマツナ株径の推移

試験区	株径 (mm)			新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>
	1 週目	2 週目	3 週目	
T43標準	11 ± 1	18 ± 2	20 ± 3	0.07 ± 0.02
T43半量	11 ± 1	17 ± 1	18 ± 1	0.06 ± 0.01
T43半量+	11 ± 1	16 ± 2	20 ± 3	0.05 ± 0.01
T47標準	12 ± 1	19 ± 2	21 ± 2	0.08 ± 0.01
T47半量	11 ± 1	17 ± 1	19 ± 2	0.06 ± 0.01
T47半量+	10 ± 1	13 ± 3	18 ± 3	0.05 ± 0.02
T48標準	13 ± 1	21 ± 2	26 ± 2	0.10 ± 0.01
T48半量	11 ± 1	18 ± 1	20 ± 2	0.07 ± 0.01
T48半量+	10 ± 1	17 ± 1	20 ± 2	0.06 ± 0.02
化成標準	10 ± 1	13 ± 3	17 ± 3	0.04 ± 0.01
化成半量	8 ± 1	10 ± 1	12 ± 2	0.03 ± 0.01

n = 18, 平均 ± 標準偏差

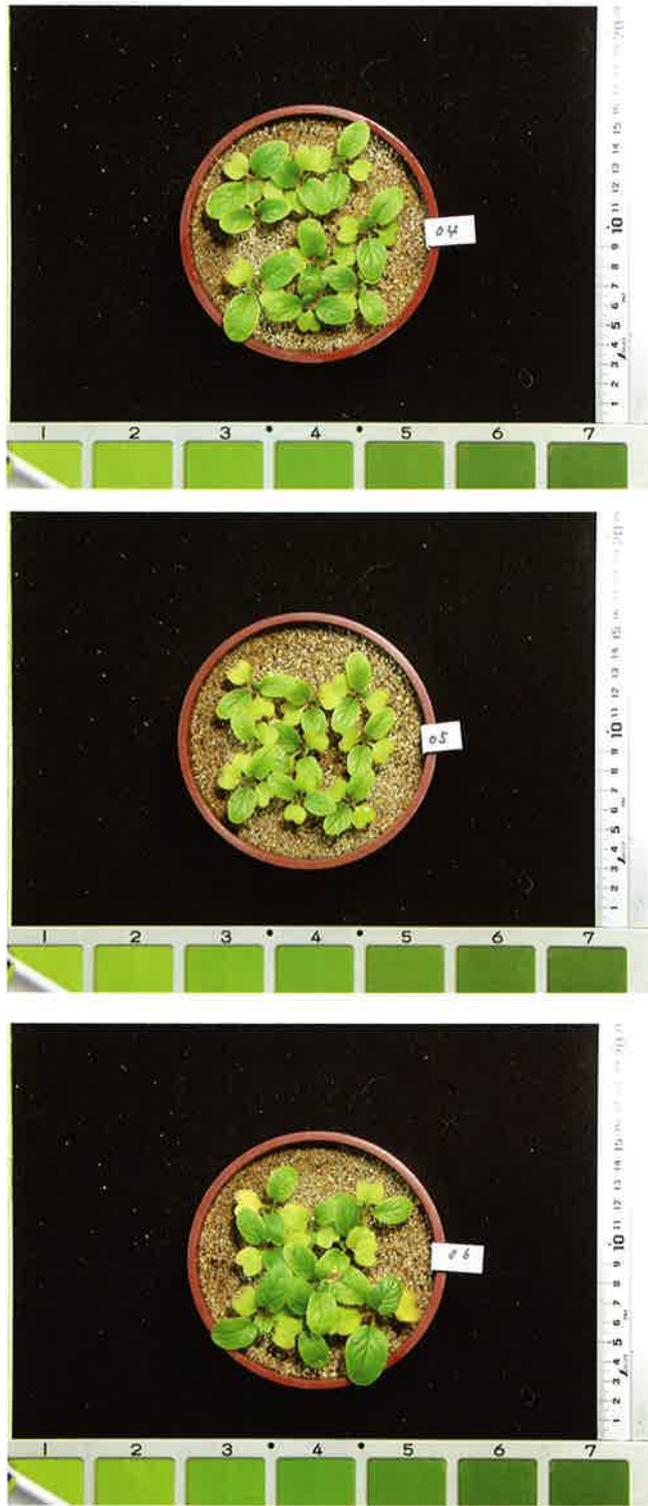


第4-1-1図 熟畑化土壤に施用した牛糞堆肥の無機態窒素

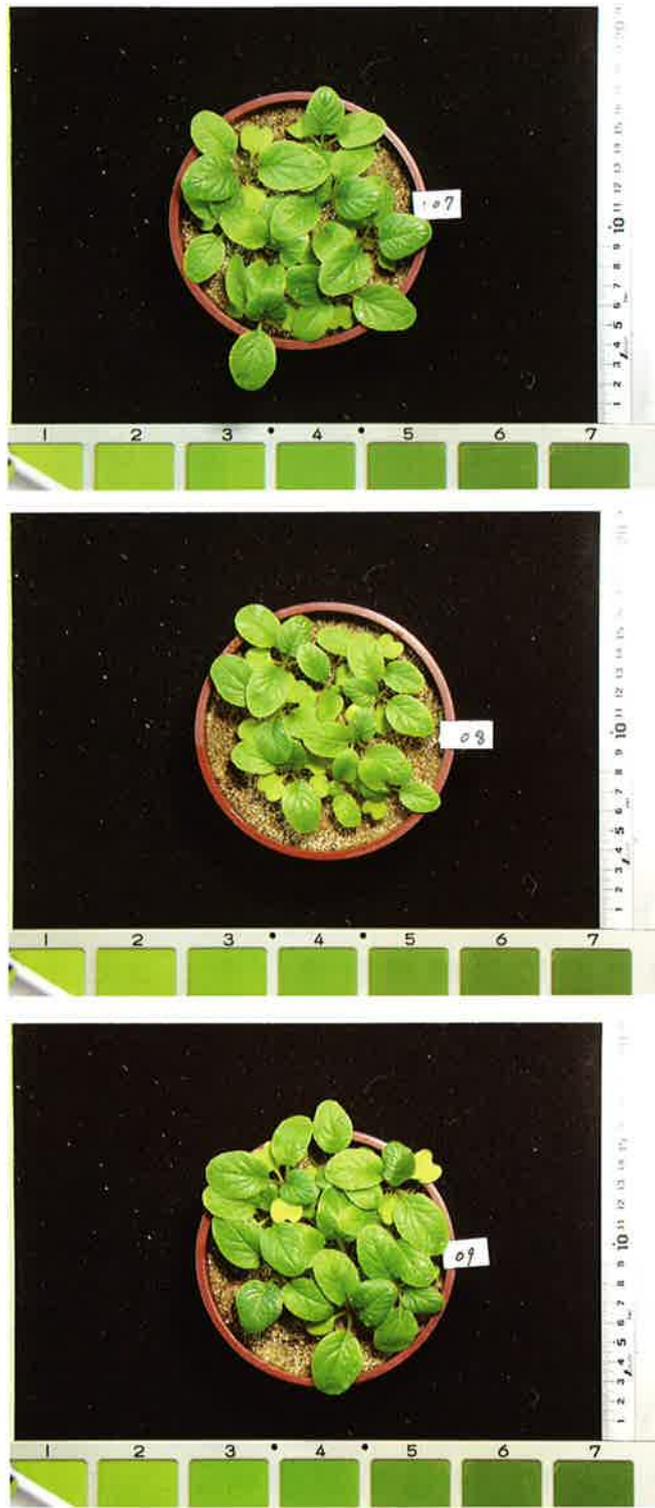
● ; T43, ▲ ; T47, ■ ; T48.



第4-1-2図 収穫時のコマツナ生育 (T43)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-1-3図 収穫時のコマツナ生育 (T47)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-1-4図 収穫時のコマツナ生育 (T48)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-1-5図 収穫時のコマツナ生育（化成標準）

## 第2節 熟畑化土壌における幼植物試験の意義

### 1. 目的

一般的に熟畑化した土壌に牛糞堆肥を施用すると、施用直後には肥効をほとんど示さず、逆に窒素のとり込みが起こって、作物が窒素飢餓を起こすことがあるとされている（植田ら 1994）。前節では、未耕作土壌においては、肥効が小さいとされる牛糞堆肥が、硝酸態窒素やインキュベーション試験から予想される以上の肥効を示すことを明らかにした。本節では、同じ花崗岩風化土を十分な肥料および堆肥施用をして作物生産を行って熟畑化させた土壌を培地として、農耕地の可給態窒素の指標として定着している硝酸態窒素を定量する方法とインキュベーションによる方法と幼植物試験による方法の三者を比較することで、栽培試験に伴う可給態窒素の評価の意義について明らかにした。

### 2. 材料および方法

#### 1) 供試堆肥と試験区

前出の製造方法の異なる3種の牛糞堆肥（第4-1-1表）を供試した。試験区は熟畑化した花崗岩風化土壌（第4-2-1表）に3種の堆肥を添加しておこなった（第4-2-2表）。試験は2連で行った。

なお、一作目が終了した後、2週間25℃に置いて、再度播種することで残効を確認した。

#### 2) 耕種概要

ノイバウエルポットに熟畑化した圃場から採取した花崗岩風化土壌の各用土500mLのうち450mLを入れ，最大容水量の約50%になるように水分量を調整した．コマツナ（品種；浜美二号）の種子12粒を播種し，噴霧器（松下電器産業製BH-565B）でイオン交換水を2秒間散布し，残り50mLの用土で十分覆土して，最終的に最大容水量の60%になるまで噴霧器で給水した．なお，供試堆肥は播種直前に用土と混和した．播種の終わったポットは保湿のためにポリエチレン製ラップを掛けて暗条件にした25℃インキュベータ（コイトロン）に設置し，播種後2日目にラップをとって蛍光灯による照明を1日あたり12時間行った．灌水は1日1～2回，重量測定しながら噴霧器で減量分を補った．間引きは播種後5日目までにできるだけ等間隔になるように9株を残して引き抜きまたは地上部を切除し，播種後21日間栽培を続けた．生育調査は，播種後7日目と14日目に株径を，播種21日後に株径，最大葉長，葉色，地上部新鮮重，地上部乾物重を測定した．

### 3) インキュベーション試験

栽培試験と同様の畑水分条件（最大容水量の60%に水分調整）で上記3種の牛ふん堆肥を添加して25℃に保温静置．1週間ごとに無機態窒素を定量し，4週間継続した．

## 3. 結果および考察

播種後，3週間にわたってコマツナの株径は第4-2-3表のように推移し，各堆肥の影響は判然としなかった．また，収穫時の生育調査結果も，各堆肥の種類による影響はほとんど無かった（第4-2-4，

5表，第4-2-2～5図）。しかし，再播種してコマツナを栽培した結果，堆肥によっては肥効が認められたことから（第4-2-5，6表），これらの牛糞堆肥の実質的な窒素の肥効は，初期3週間の幼植物試験では評価できないものと考えられた。

#### 4. 摘要

熟畑化した花崗岩風化土壌を培地として，農耕地の可給態窒素の指標として定着している硝酸態窒素を定量する方法，インキュベーションによる方法，幼植物試験による方法の三者を比較することで，栽培試験が可給態窒素の評価においてどのような意義があるのかについて検討した。その結果，供試土壌からの養分供給が多い場合には，一作目には堆肥の肥効は判然としないものの，2作目には肥効を現わすものがあった。

第4-2-1表 供試した熟畑化した花崗岩風化土の理化学性

用土の種類	pH <sup>a</sup> (H <sub>2</sub> O)	EC <sup>a</sup> dS m <sup>-1</sup>	硝酸態N <sup>a</sup> mg kg <sup>-1</sup>	最大容水量 <sup>b</sup> kg 乾土kg <sup>-1</sup>
砂質黄色土	6.21	0.266	107	0.44

第4-2-2表 コマツナ幼植物試験一覧

試験区	添加資材	資材添加量 g pot <sup>-1</sup>	硝酸カルシウム g pot <sup>-1</sup>
T43標準	牛糞堆肥 T43	4.85	0
T43半量	牛糞堆肥 T43	2.43	0
T43半量+	牛糞堆肥 T43	2.43	0.072
T47標準	牛糞堆肥 T47	6.06	0
T47半量	牛糞堆肥 T47	3.03	0
T47半量+	牛糞堆肥 T47	3.03	0.072
T48標準	牛糞堆肥 T48	3.11	0
T48半量	牛糞堆肥 T48	1.55	0
T48半量+	牛糞堆肥 T48	1.55	0.072
化成標準	なし	0	0.144
化成半量	なし	0	0.072

第4-2-3表 コマツナ株径の推移

試験区	株径 (mm)		
	1 週目	2 週目	3 週目
T43標準	24 ± 2	66 ± 9	110 ± 11
T43半量	26 ± 2	71 ± 8	124 ± 15
T43半量+	25 ± 2	68 ± 7	119 ± 12
T47標準	27 ± 1	75 ± 10	124 ± 12
T47半量	25 ± 2	75 ± 8	122 ± 13
T47半量+	23 ± 2	69 ± 9	114 ± 16
T48標準	25 ± 2	71 ± 10	119 ± 14
T48半量	26 ± 3	72 ± 9	125 ± 16
T48半量+	23 ± 2	64 ± 10	112 ± 14
化成標準	23 ± 2	64 ± 8	114 ± 11
化成半量	24 ± 1	75 ± 5	117 ± 8

n = 18, 平均 ± 標準偏差

第4-2-4表 コマツナ生育に及ぼす影響（収穫時調査）

試験区	最大葉長 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
T43標準	87 ± 9	39.0 ± 3.2	1.31 ± 0.35	90
T43半量	93 ± 9	39.3 ± 4.0	1.52 ± 0.48	96
T43半量+	91 ± 6	40.9 ± 3.5	1.41 ± 0.29	95
T47標準	97 ± 6	40.1 ± 3.8	1.57 ± 0.35	101
T47半量	94 ± 11	39.0 ± 4.1	1.61 ± 0.52	99
T47半量+	90 ± 9	40.5 ± 3.0	1.43 ± 0.43	94
T48標準	94 ± 12	39.6 ± 5.1	1.51 ± 0.53	99
T48半量	93 ± 13	38.9 ± 5.4	1.55 ± 0.49	99
T48半量+	86 ± 9	41.3 ± 2.6	1.26 ± 0.34	86
化成標準	81 ± 10	38.5 ± 4.7	1.22 ± 0.42	80
化成半量	88 ± 5	42.9 ± 3.5	1.54 ± 0.37	102

n = 18, 平均 ± 標準偏差

第4-2-5表 コマツナ株径の推移

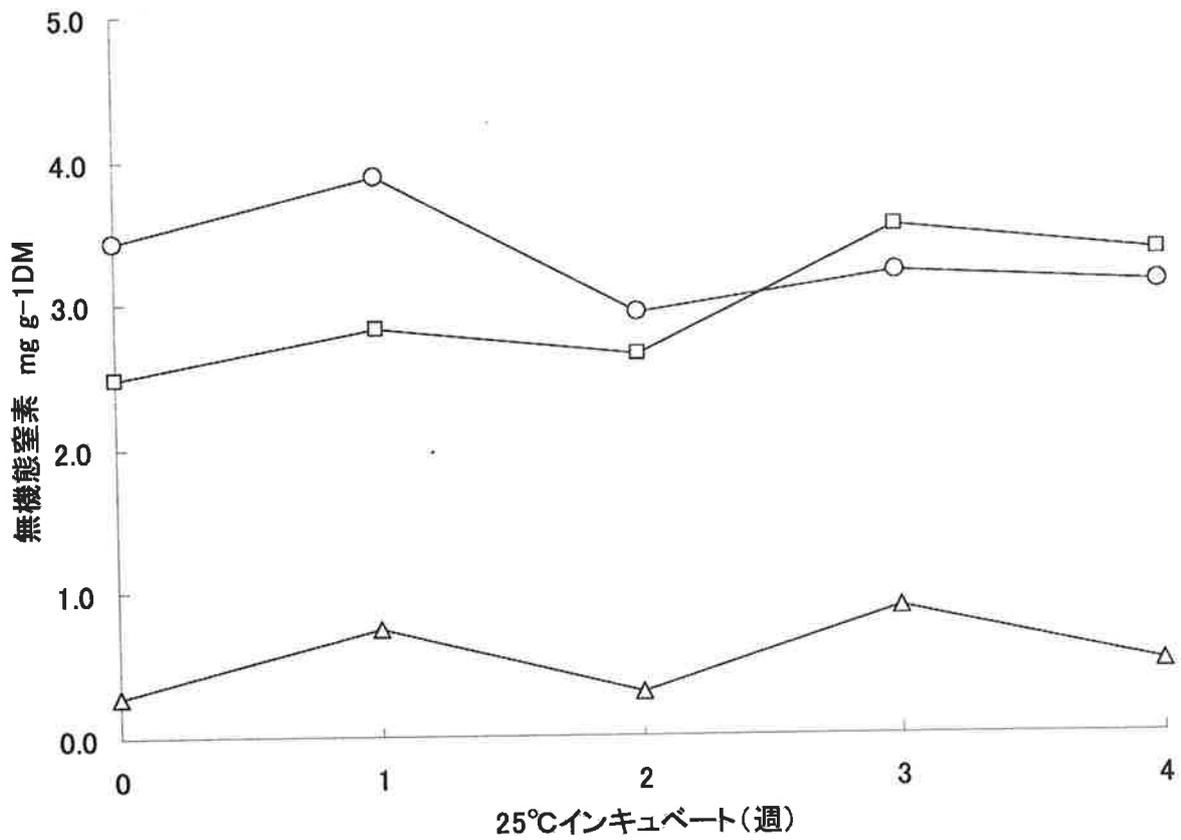
試験区	株径 (mm)		
	1 週目	2 週目	3 週目
T43標準	23 ± 2	62 ± 10	104 ± 17
T43半量	23 ± 2	61 ± 10	95 ± 15
T43半量+	22 ± 1	56 ± 9	102 ± 14
T47標準	22 ± 2	62 ± 7	86 ± 11
T47半量	23 ± 2	65 ± 6	91 ± 10
T47半量+	23 ± 1	64 ± 7	101 ± 11
T48標準	23 ± 2	62 ± 6	112 ± 18
T48半量	23 ± 2	61 ± 8	98 ± 11
T48半量+	22 ± 1	59 ± 8	106 ± 9
化成標準	21 ± 2	57 ± 6	111 ± 12
化成半量	23 ± 2	62 ± 4	91 ± 6

n = 18, 平均 ± 標準偏差

第4-2-6表 コマツナ生育に及ぼす影響（収穫時調査）

試験区	最大葉長 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
T43標準	79 ± 11	40.3 ± 6.1	0.96 ± 0.30	74
T43半量	69 ± 9	42.8 ± 4.8	0.76 ± 0.23	63
T43半量+	76 ± 12	39.5 ± 4.1	0.95 ± 0.28	59
T47標準	66 ± 8	42.1 ± 3.9	0.69 ± 0.21	61
T47半量	70 ± 3	44.3 ± 5.1	0.77 ± 0.15	70
T47半量+	73 ± 7	39.3 ± 4.5	0.90 ± 0.24	68
T48標準	80 ± 13	41.3 ± 8.0	0.93 ± 0.30	64
T48半量	74 ± 9	43.3 ± 6.3	0.84 ± 0.22	64
T48半量+	80 ± 7	40.1 ± 5.4	1.03 ± 0.25	70
化成標準	87 ± 8	39.7 ± 5.0	1.16 ± 0.31	74
化成半量	70 ± 6	35.5 ± 4.0	0.78 ± 0.17	63

n = 18, 平均 ± 標準偏差

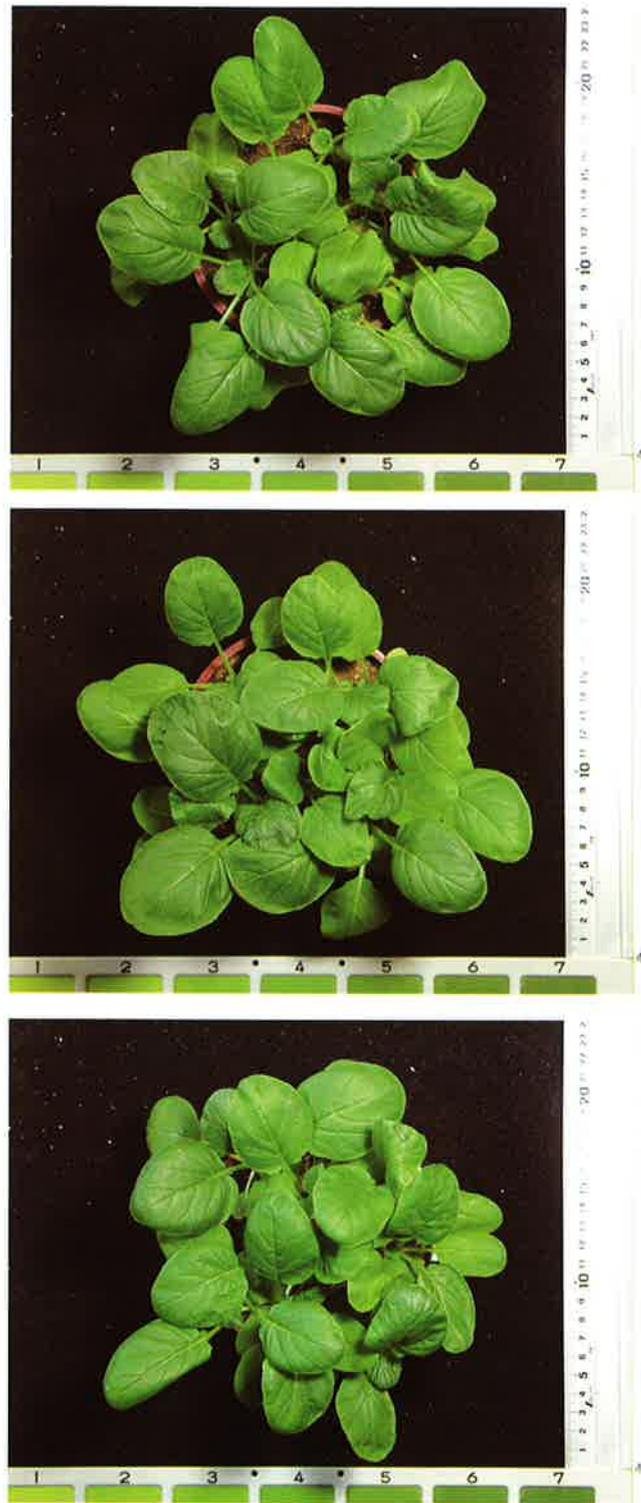


第4-2-1図 熟畑化土壤に施用した牛糞堆肥の無機態窒素

○ ; T43, △ ; T47, □ ; T48.



第4-2-2図 収穫時のコマツナ生育 (T43)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-2-3図 収穫時のコマツナ生育 (T47)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-2-4図 収穫時のコマツナ生育 (T48)  
上段 ; 標準, 中段 ; 半量, 下段 ; 半量+.



第4-2-5図 収穫時のコマツナ生育（化成標準）

### 第3節 牛糞堆肥の水抽出画分と抽出残渣の効果

#### 1. 目的

一般的には牛糞堆肥は、肥効が小さく、主として土壤改良材としての側面が強調されている（大橋ら 2003）。特に、熟畑化した土壤においては、土壤微生物による窒素のとり込みが起こり、一時的に窒素飢餓が起きるという指摘がある（植田ら 1994）。しかし、前節までに示したように未耕作の土壤では、従来可給態窒素の指標とされている硝酸態窒素やインキュベーション試験の結果を上回る肥効を示すことが明らかになった。そこで、これらの牛糞の肥効が水溶性のものに由来するのか、他の画分に含まれているのかを、水抽出をおこなうことで明らかにする。

#### 2. 材料および方法

##### 1) 供試堆肥と試験区

前出の製造方法の異なる3種の牛糞堆肥（第4-1-1表）を供試した。試験区は未耕作土壤である花崗岩風化土（第4-1-2表）に3種の堆肥、堆肥の水抽出液またはその抽出残渣を添加した（第4-3-1表）。抽出方法は、堆肥の所定量に蒸留水100mLを加え、1時間振とう後2枚重ねにしたガーゼで漉したものを抽出液とその残渣とした。試験は2連で行った。

##### 2) 耕種概要

ノイバウエルポットに未耕作土壤である花崗岩風化土の各用土50

0mLのうち450mLを入れ，最大容水量の約50%になるように水分量を調整した．コマツナ（品種；浜美二号）の種子12粒を播種し，噴霧器（松下電器産業製BH-565B）でイオン交換水を2秒間散布し，残り50mLの用土で十分覆土して，最終的に最大容水量の60%になるまで噴霧器で給水した．なお，供試堆肥は播種直前に用土と混和した．播種の終わったポットは保湿のためにポリエチレン製ラップを掛けて暗条件にした25℃インキュベータ（コイトロン）に設置し，播種後2日目にラップをとって蛍光灯による照明を1日あたり12時間行った．灌水は1日1～2回，重量測定しながら噴霧器で減量分を補った．間引きは播種後5日目までにできるだけ等間隔になるように9株を残して引き抜きまたは地上部を切除し，播種後21日間栽培を続けた．生育調査は，播種後7日目と14日目に株径を，播種21日後に株径，最大葉長，葉色，地上部新鮮重，地上部乾物重を測定した．

### 3. 結果および考察

堆肥T43とT48を施用した試験区では，コマツナの株径は堆肥全体を施用した区と水抽出画分を施用した区の生育が類似した．しかし，堆肥T47では水抽出画分の肥効が小さかった（第4-3-2表）．最大葉長，葉色，新鮮重，乾物重も株径と同様の傾向を示した（第4-3-3表）．水抽出によって無機態窒素の多くが水抽出画分に移行したと考えられ，水抽出画分を施用した区の生育は，それを反映したものであると判断された．しかし，堆肥T43のように残渣施用区でもコマツナは無肥料である対照区の倍程度の新鮮重，乾物重が得られる

こともあった。

#### 4. 摘要

未耕作土壌を培地として、原料の異なる3種の牛ふん堆肥について水抽出画分とその残渣画分の肥効を調査した。その結果、堆肥の種類によっては、残渣画分のみを施用しても、対照区の倍程度の生育をする堆肥があることが明らかになった。

第4-3-1表 コマツナ幼植物試験一覧

試験区	添加資材	資材添加量 g pot <sup>-1</sup>
T43W	T43	4.85
T43S	T43抽出残渣	-
T43L	T43抽出液	-
T47W	T47	6.06
T47S	T47抽出残渣	-
T47L	T47抽出液	-
T48W	T48	3.11
T48S	T48抽出残渣	-
T48L	T48抽出液	-
対照区	なし	-

第4-3-2表 コマツナ株径の推移

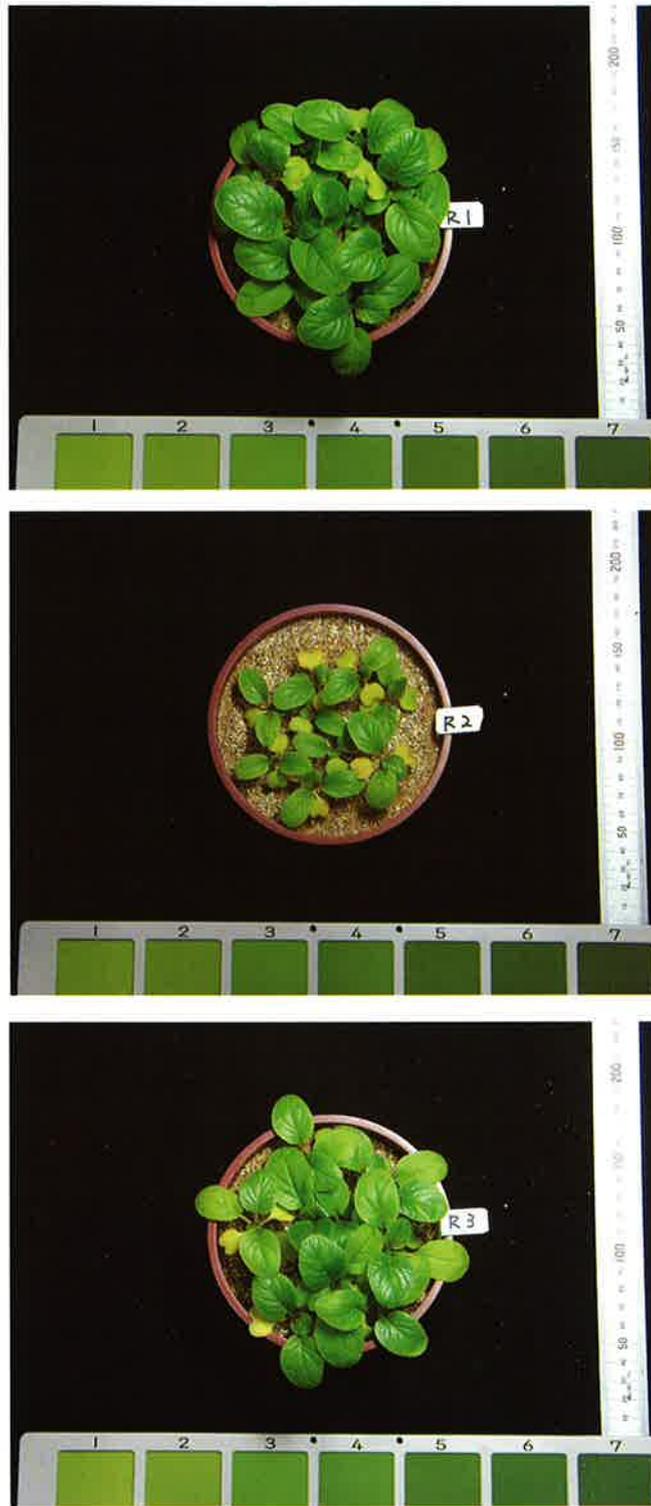
試験区	株径 (mm)		
	1 週目	2 週目	3 週目
T43W	23 ± 2	57 ± 6	70 ± 8
T43S	19 ± 1	35 ± 5	44 ± 5
T43L	23 ± 2	54 ± 6	67 ± 8
T47W	20 ± 1	30 ± 4	41 ± 6
T47S	16 ± 2	27 ± 4	39 ± 5
T47L	18 ± 1	28 ± 3	36 ± 5
T48W	23 ± 1	49 ± 4	57 ± 5
T48S	17 ± 1	28 ± 4	40 ± 5
T48L	22 ± 2	41 ± 6	49 ± 6
対照区	17 ± 1	23 ± 2	30 ± 4

n = 18, 平均 ± 標準偏差

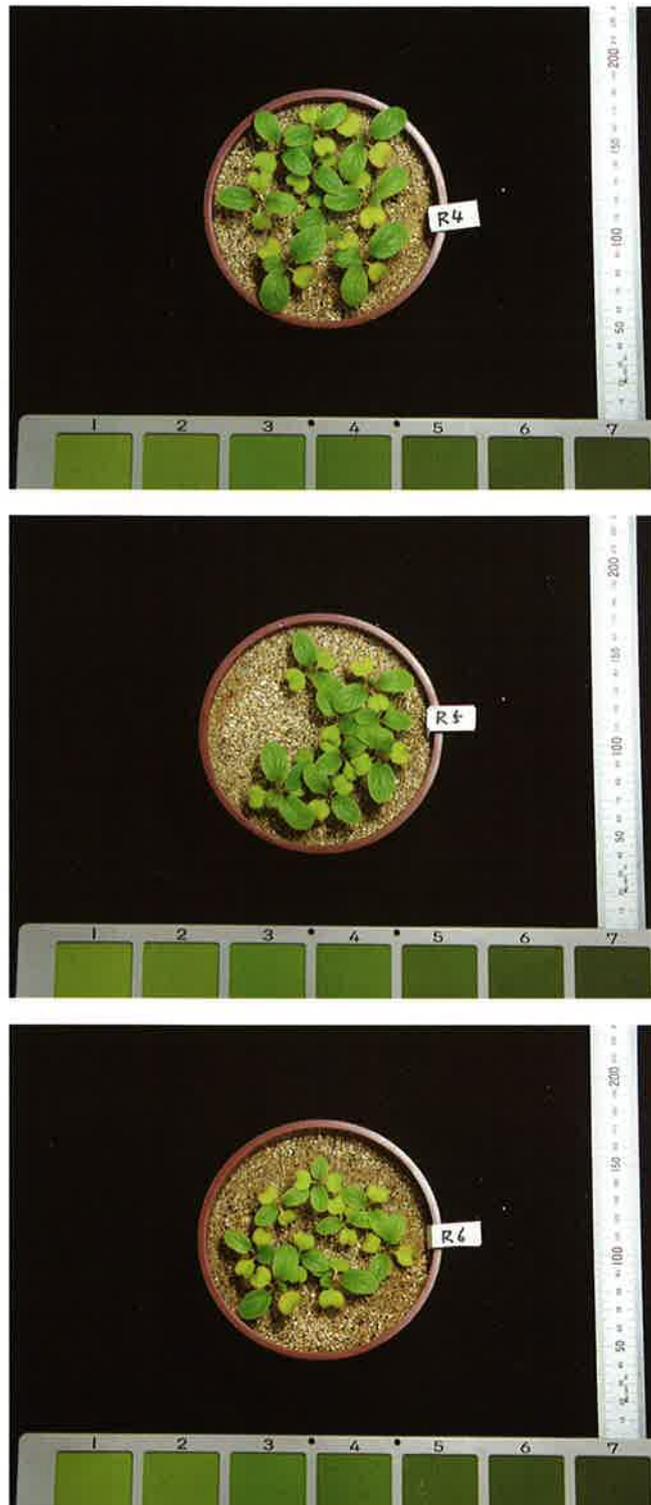
第4-3-3表 コマツナ生育に及ぼす影響（収穫時調査）

試験区	最大葉長 mm	葉色 SPAD	新鮮重 g 株 <sup>-1</sup>	乾物重 mg 株 <sup>-1</sup>
T43W	46 ± 5	39.4 ± 3.0	0.61 ± 0.14	85
T43S	28 ± 3	33.8 ± 3.9	0.23 ± 0.05	38
T43L	44 ± 5	38.4 ± 3.0	0.54 ± 0.11	81
T47W	27 ± 3	33.7 ± 3.2	0.21 ± 0.04	30
T47S	24 ± 3	35.0 ± 3.3	0.16 ± 0.03	24
T47L	23 ± 3	32.0 ± 3.3	0.15 ± 0.03	24
T48W	39 ± 3	37.2 ± 2.0	0.40 ± 0.04	60
T48S	25 ± 3	38.0 ± 2.3	0.17 ± 0.04	28
T48L	33 ± 3	34.8 ± 5.1	0.30 ± 0.06	37
対照区	20 ± 2	32.0 ± 2.9	0.10 ± 0.01	19

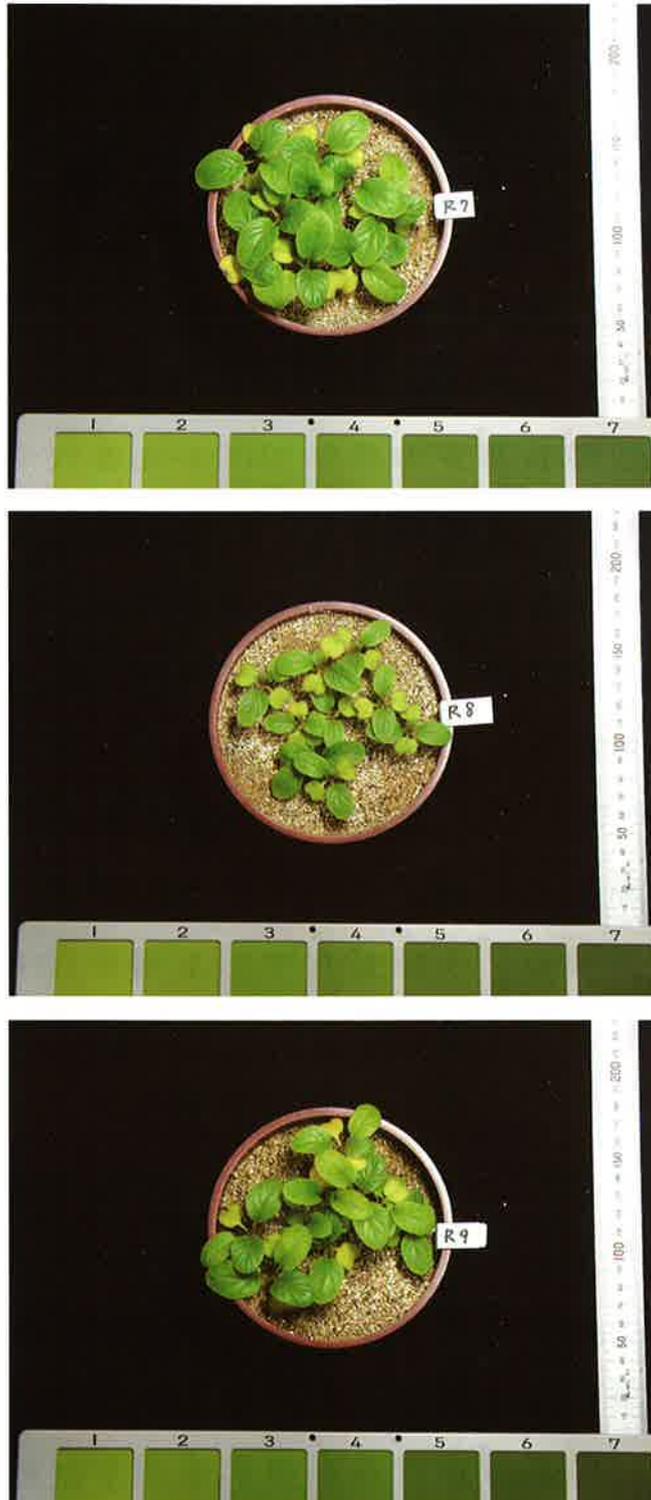
n = 18, 平均 ± 標準偏差



第4-3-1図 牛糞堆肥とその水抽出画分がコマツナ生育に及ぼす影響（堆肥T43），上段；堆肥全量，中段；残渣のみ，下段；水抽出液のみ。



第4-3-2図 牛糞堆肥とその水抽出画分がコマツナ生育に及ぼす影響（堆肥T47），上段；堆肥全量，中段；残渣のみ，下段；水抽出液のみ.



第4-3-3図 牛糞堆肥とその水抽出画分がコマツナ生育に及ぼす影響（堆肥T48），上段；堆肥全量，中段；残渣のみ，下段；水抽出液のみ。

## 第 5 章 総合考察

作土中に不均一に施用された肥効調節型肥料や多様化する有機質資材を統一的に検定することは困難であり（井ノ子 1982），これらが複合的に施用されている耕地土壌の生産力，特に可給態窒素の評価を行うのは難しい．耕地土壌の生産力評価や土壌に施用される資材の評価については，様々な手法が用いられてきた．例えば，耕地土壌の生産力評価では，土壌 pH，電気伝導度（EC），可給態リン酸，交換性陽イオンと並んで全窒素や無機態窒素（硝酸態窒素とアンモニア態窒素）が測定されている．多くは，これらの分析値を元に土壌診断基準と照合し，土壌養分の過不足が算出される（岡島 1984）．これら基準の中でも農業上最も注目され，作物生育に影響が大きいのが，可給態窒素である．土壌中の窒素は無機態だけでなく有機態でも存在し，土壌微生物の影響を受けながら動的に変化していることがわかっている（植田ら 1994）．一般的には，作物生育期間中に土壌中で有機化される化学肥料由来の施肥窒素はそれほど多くないと考えられている（Nomnikら 1982）．有機質資材の例では，三好ら（2001）は，重窒素で標識した牛ふん堆肥を使って軟弱野菜を連作し，野菜による窒素全吸収量に占める堆肥由来窒素の割合が供試土壌や堆肥施用後の作数にかかわらず10から15%であったとしている．これは，牛ふん堆肥施用時には窒素施肥量を10%程度減らし得ることを示している．

化成肥料の側面からは，肥効調節型肥料に見られるように，肥料粒の外側にはきわめて緩慢にしか肥料成分が溶出しない製品が一般化し，その評価方法は地温データを基本とした窒素の溶出予測にな

っている。石橋ら（1997）は同様の手法を動物性有機質肥料に適用して無機態窒素量の予測を行っている。しかし、家畜ふんに代表される有機質資材は肥効時期が明確でないのが一般的である。このような背景から、これまで主として用いられてきた分析的手法だけでは評価しがたい場面において、時間を要するとはいえ、実際に植物を栽培して影響や効果を判定する方法は、実際的であるといえる。しかし、唯一の公定法になっている、肥料取締法による栽培試験法には十分な記載がない。例えば、この試験方法における供試作物は「原則としてこまつなとする」とされている。そこで、入手の容易な9品種について発芽試験および栽培試験を行ったところ、発芽温度に対する適応性には品種間差があり、低温域を含めて発芽揃いの優れた品種として‘浜美二号’を選択した。

温度管理については「試験期間中における栽培温度は、原則として摂氏15度から25度までの範囲内に保つものとする」と記載されているにすぎないため、コマツナ栽培に必要な照度を蛍光灯によって確保しつつ、温浴循環槽の利用によって地温を安定化させることができた。また、灌水については「最大容水量の50～60%となるように」し、栽培期間の後半には「適宜給水する」といった規定しかなされていない。そこで、半閉鎖系のポットであるノイバウエルポットで自動灌水を行うための光学式センサーを開発した。このセンサーは、肥料塩の影響を受けることなく土壤水分の測定ができ、このセンサーからの信号で電磁弁を制御することで3週間の自動灌水が行えるようになった。このことは、単に作業を省力化しただけでなく、土壤水分条件を植物の生長に伴う重量変化等の影響を受けることなく制御できることを示したものであり、塩類の影響を受けない

という特徴とともに高い実用性が期待できる。

肥料取締法に規定された試験結果の評価は、同時に実施した同一のコマツナ品種に関して、標準的な肥料を与えた場合の生育と試験資材を与えた場合のそれとを比較した指数を示すにとどまっている。しかし、環境条件によってコマツナの生育が大きく異なることは容易に想像でき、これでは他の試験結果との比較ができないばかりか、場合によっては同じ資材に対して異なる評価を下す可能性がある。本研究によって、これまで曖昧であった規定がより明確になったことで、幼植物試験の利用価値が高まるものと考えられる。

上記の技術開発を利用して、これまで植物を利用した定量的な評価が困難であった有機質資材について、従来法と比較しながら具体的な検討を行った。すなわち、土壌中の可給態窒素評価において、従来の分析的手法と幼植物試験による方法を比較し、これまで肥効がほとんど期待できないとされてきた牛糞堆肥を供試して、窒素の肥効が現れる条件を検討し、未耕作土壌において肥効が期待できることを示した。この傾向は、熟畑化した土壌では明らかでなく、未耕作土壌における植物による積極的な養分吸収であることを示唆した。このことは、通常の土壌診断において行われている可給態窒素の評価だけでは、営農上必要となる可給態窒素の評価が不十分であり、特に肥効が明らかでない資材を利用しようとする場合に幼植物試験法は有効な評価方法になると考えられる。

これまで、幼植物試験の結果は土壌診断でほとんど取り扱われてこなかった指標であるが、本研究で示されたような栽培環境の整備が行われることで、今後有用な指標になるものと考えられる。また、幼植物試験は、従来の無機態窒素の定量や植物を利用しないインキ

ュベーションによる方法では肥効を十分評価できない資材に関して有効な評価方法であり，農薬や土壌改良資材などの土壌施用型の資材の効果を評価する場合においても有用と考えられ，供試植物の選定を含めて今後試験方法の改良が期待される．

## 第6章 総括および結論

窒素は農業生産において植物養分として最も重要な成分であり、土壌中の可給態窒素評価については数多くの研究がある。可給態窒素の分析的な手法としては、土壌抽出液に含まれる硝酸態やアンモニア態窒素を測定する方法、微生物による影響を加味したものとしてインキュベーション法等が行われている。特に、農耕地の可給態窒素の指標として定着しているのは硝酸態窒素を定量する方法で、短時間で安定した評価が得られる。しかし、近年、肥効調節型肥料の普及や堆肥等の有機質資材の効果を見直す機運が拡がり、土壌中の窒素栄養が必ずしも硝酸態窒素含量だけで評価しにくい場面が増加してきた。一方、わが国の肥料取締法では、肥料の安全性を確保するために植物を使った試験方法が規定されていて、コマツナを用いた幼植物試験を評価手法のひとつとして重視する方向を示している。肥料取締法に記載されている試験方法における供試作物は、原則としてコマツナとされ、温度管理は、原則として15℃から25℃までの範囲内に保つものとされているにすぎない。このため、この試験の評価は同時に実施した同一のコマツナ品種に関して、標準的な肥料を与えた場合の生育と試験資材を与えた場合のそれとを比較した指数を示すにとどまっている。また、環境条件によってコマツナの生育が大きく異なることは容易に想像できる。これでは、他の試験結果との比較ができないばかりか、場合によっては同じ資材に対して異なる評価を下す可能性がある。このため、まず、この幼植物試験をより有効なものにするためには、播種方法を含めた供試品種の検討や、栽培環境の平準化が重要であると考え、栽培試験方法の

改良を検討することにした。また、再現性の高い試験条件が確保されることによって土壌中の可給態窒素評価において、従来の分析的手法と幼植物試験による方法を比較し、幼植物試験による方法の有効性について検討することを目的とした。

1) 供試植物側の問題として、供試するコマツナ品種が様々な温度条件のもとで、発芽に要する時間を調査し、3週間の栽培後に試験結果に与える影響について検討した。さらに、個人的な技量が影響しにくい播種方法として、水溶性の播種シートを用いる方法を検討した。その結果、温度管理が可能な場所では、25℃を維持することによって、種子の粒径にかかわらず、いずれの品種を用いても試験に支障はないと考えられた。しかし、15℃程度の低温になる可能性がある場合には、温度適応性の高い‘浜美2号’が好適な品種であった。また、播種シートを用いる方法は、大幅に播種時間を短縮でき、その栽培結果は従来法と有意な差を生じなかった。

2) 栽培環境を平準化するために人工照明や土壌恒温槽を持つ栽培装置を構成し、その効果を検証するとともに土壌塩類の影響を受けない光学式水分センサーを用いた自動灌水装置について検討した。その結果、地温の制御と幼植物の栽培に必要な照明を具備した簡易な装置によってコマツナの生育を安定化させる環境を構築できることが明らかになった。小規模の栽培システムの照明では蛍光灯は有望な光源であり、植物生育に十分な照度が確保できた。また、発光ダイオードを光源とした塩類の影響を受けない光学式水分センサーを利用して土壌水分の測定を検討した。従来、圃場レベルでの土壌水分測定法として使われている比誘電率式の水分計は、塩類濃度が高い場合に補正が必要なことが知られている。このため、近赤外分

光法を応用し，水の吸収波長である1450 nmの発光ダイオードを光源にして，その反射光を測定する光学式センサーを用いて，塩類を添加した川砂の水分測定を行った．その結果，このセンサーは0.1 mol L<sup>-1</sup>濃度に調整した硫酸アンモニウム，尿素，塩化カリウム，硫酸マグネシウムの各肥料塩溶液，および塩化ナトリウムの同濃度溶液の影響を受けなかった．また，海水の原液や10，100，1000倍希釈液を0.1 kg kg<sup>-1</sup>添加した場合に，比誘電率法では高濃度になるほど影響を強く受けたのに対して，このセンサーは，海水濃度に関係なく影響を受けなかった．これらの結果から，この水分センサーは塩類濃度が高い砂質土壌で使用できる水分測定手法になる可能性を認めた．また，このセンサーを応用した自動灌水装置を使ったコマツナ栽培試験では，水分調節の困難な半閉鎖系のノイバウエルポットにおいて，手灌水と同等の性能を示した．

3) 平準化された栽培条件で幼植物試験を行い，従来法である硝酸態窒素の定量やインキュベーションによる可給態窒素の評価を比較した．その結果，可給態窒素の少ない未耕作土壌において，一般的に肥料効果が小さいとされている牛ふん堆肥にも，分析的手法によって評価されている以上の窒素栄養の供給力があることを明らかにした．この傾向は，熟畑化した土壌では明らかでなく，植物による積極的な養分吸収が示唆された．

本研究で得られた結果を総合すると，幼植物試験法は可給態窒素の評価法として，これまで十分に活用されていたとはいえず，栽培環境の平準化によって広範な農業資材の評価方法として高い利用価値がある手法になると考えられた．

## 謝 辞

本研究は，鳥取大学農学部本名俊正教授のご指導のもとに実施されたものであり，先生に深甚な謝意を表します。

また，本論文をとりまとめるにあたり，有益なご助言を賜った山口大学農学部進藤晴夫教授，島根大学農学部若月利之教授，鳥取大学農学部藤山英保教授，鳥取大学農学部山本定博助教授に謹んで感謝の意を表します。

第2章で述べた播種方法の改良は，独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センターの生雲晴久博士，山口武則博士，大阪府立食とみどりの総合技術センターの磯部武志研究員のご協力無しにはできませんでした。また，種子発芽試験について，元農林水産省種苗管理センター関西品種調査農場の山田諭氏からご助言と資料の提供をしていただきました。さらに，ノイバウエル幼植物試験の栽培管理について，元農林水産省大阪肥飼料検査所の梶原正伸氏から貴重なご助言をいただきました。第3章で述べた栽培環境の安定化についての装置化は，富士平工業株式会社の渡辺高秀氏，株式会社フジワークの中嶋律之氏，五島博信氏のご協力によるもので，厚くお礼申し上げます。また，光学式水分センサーに対する塩類の影響については，鳥取大学乾燥地研究センター井上光弘博士から貴重なご助言をいただきました。さらに，第4章では，貴重なご助言とともにインキュベーション試験にご協力いただいた新潟県農業総合研究所畜産研究センターの小柳 渉主任研究員に厚くお礼申し上げます。

また，博士課程への進学を快く許していただいた大阪府立食とみ

どりの総合技術センターの嘉儀 隆所長はじめ関係の皆様にお礼申し上げます。

本論文の作成にあたり、数多くのご助言をいただくとともに大変なご苦勞をかけた鳥取大学農学部の遠藤常嘉博士，実験準備や調査にご協力いただいた大阪府立食とみどりの総合技術センターの田中弘子さん，南野明美さん，後藤敬子さんに心から感謝いたします。また，日々の栽培管理では，大阪府立食とみどりの総合技術センターの豊原憲子研究員，西野俊二技師，小池一嘉技師，田中敏明技師，松原弘典技師のお世話になりました。大阪府立食とみどりの総合技術センターの清水 武博士，日野和裕博士，兵庫県農林水産技術総合センター淡路農業技術センターの吉倉惇一郎博士，滋賀県農政課の柴原藤善博士をはじめ近畿土壤肥料研究協議会の皆様には始終ご激励をいただきました。あわせて感謝申し上げます。

## 文 献

- Barber, S. A. and Peterson, J. B. : Soil Nutrient Bioavailability, John Wiley & Sons, Inc. United States of America, (1995)
- Bekendam, J. and Grob, R. : Handbook for Seedling Evaluation 2nd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich (1979)
- Bowers, S.A. and Smith, S.J. : Spectrophotometric determination of soil water content, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **36**, 978 ~ 980 (1972)
- Dalal, R.C. and Henry, R.J.: Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **50**, 120 ~ 123 (1986)
- 土壤環境分析法編集委員会 編：土壤環境分析法，pp. 195～197，博友社，東京（1997）
- 同上：－，p. 202～204，－，－（1997）
- 同上：－，p. 247～248，－，－（1997）
- 遠藤常嘉・本名俊正・井上光弘・井上敦央・本城和則・藤巻晴行・山本定博・山本太平：砂質土壌下における連続および間断灌漑に伴う塩と水の動態，日本砂丘学会誌，**49**(3)，105～112（2003）
- 福田英明：肥料取締法の一部を改正する法律の概要，日本土壤肥料学雑誌，**71**，943（2000）
- Fitter, A. H. and Hay, R. K. M. : 植物の環境と生理，p. 158～163，学会出版センター，東京（1998）
- フジワーク：2波長水分センサー取扱説明書 Ver1.0，大阪（2002）
- 藤原俊六郎：堆肥等有機物分析法，日本土壤協会，（2000）
- 藤原孝之・原 正之・村上圭一：家畜ふん堆肥の腐熟度評価におけ

る試料の乾燥法の影響，日本土壤肥料学雑誌，74(5)，607～614  
(2003)

Gates,D.M.:Biophysical Ecology.Springer-Verlag (1980)

長谷川周一(土壤環境分析法編集委員会編):土壤環境分析法, pp.  
21～24, 博友社, 東京(1997)

長谷川周一:土壤中の水と養分移動, 日本土壤肥料学雑誌, 74(6),  
pp. 839～844 (2003)

橋本康:植物環境制御入門, オーム社, pp.152 (1987)

波多野隆介・長谷川周一・佐久間敏雄:TDR土壤水分計のキャリ  
ブレーション, 日本土壤肥料学雑誌, 66(6), 678～680 (1995)

堀野治彦・丸山利俊輔:TDR法による土壤の体積含水率および電  
気伝導度の測定について, 土壤の物理性, 65, 55～61 (1992)

井ノ子昭夫:有機物資材の品質とその検定法, 農業および園芸, 57,  
235～242 (1982)

石橋英二・木本英照:動物性有機質肥料を施用した土壤中の無機態  
窒素量予測, 近畿中国農研, 94, 13～17 (1997)

井ノ子昭夫:有機物資材の品質とその検定法, 農業および園芸, 57,  
235～242 (1982)

井上光弘:埋設型土壤感圧水分センサー, 日本砂丘学会誌, 41(2),  
74～79 (1998)

井上光弘:誘電率水分センサーの開発, 日本砂丘学会講演要旨, 50,  
24-25 (2003)

The International Seed Testing Association: International Rules for Seed Testing Rules (19  
96), pp. 29～33, Zurich(1996)

亀和田國彦(土壤環境分析法編集委員会編):土壤環境分析法, pp.

- 195～197, 博友社, 東京 (1997)
- 亀和田國彦 (土壤環境分析法編集委員会 編) : 土壤環境分析法, pp. 202～204, 博友社, 東京 (1997)
- 神谷径明・堀田 柏 : 速度論的解析法による地力窒素発現量の簡易予測法 グライ土、灰色低地土水田土壤について, 静岡農試研報, 40, 51～62 (1995)
- 河野澄夫 (尾崎幸洋・河田 聡 編) : 近赤外分光法, pp. 157～172 学会出版センター, 東京 (1996)
- 古在豊樹・全 厚・大山克己 : 新たな苗生産システムの構築を目指して [ 1 ], 農業および園芸, 75(3), 371～377(2000)
- 李 民贊・笹尾 彰・澁澤 栄・酒井憲司 : N I R 反射スペクトルによる土壤パラメータの推定, 農業機械学会誌, 62(3), 111～120 (2000)
- 松本 聡 (日本土壤肥料学会編) : 世界における塩集積土壤の分布とその特性 (塩集積土壤と農業), pp. 11～38, 博友社, 東京 (1991)
- 松永俊朗・上沢正志 : 近赤外分析法の土壤の理化学的性質定量への適用, 日本土壤肥料学雑誌, 63(6), 712～714 (1992)
- 松浦英之・鈴木則夫・望月一男 : 畑土壤における地力窒素の簡易測定法, 静岡農試研報, 34, 47～54 (1989)
- 三好昭宏・桑名健夫・西口真嗣・吉倉惇一郎・施設軟弱野菜に施用した牛ふん堆肥由来窒素の吸収利用, 日本土壤肥料学雑誌, 72, 558～561(2001)
- 水野和俊 : 肥料取締法施行規則の一部改正等について, 再生と利用, 23, 12～20 (2000)

- Morgan,D.C. and Smith,H.:Linear relationship between phytochrome photoequilibrium and growth in plants under simulated natural radiation,*Nature*,**262**,210 ~ 212 (1976)
- 中村俊一郎：農林種子学総論，p.146～149，養賢堂，東京（1985）
- 中島 誠・井上光弘・澤田和男・クリスニコル：ADR法による土壌水分量の測定とキャリブレーション，日本地下水学会誌，**40**（4），509-519（1998）
- 西尾 隆・荒尾知人：土壌中の施肥アンモニア態窒素有機化量の推移に関する土壌間差異，日本土壌肥料学雑誌，**73**（5），493～499（2002）
- Nommik, K. and Vahtras, K. :Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils;in *Nitrogen in Agricultural Soils*, ed. F. J. Stevenson, p123～171, American Society of Agronomy, Madison (1982)
- 農文協 編：野菜園芸大百科9，pp.367～368，農文協，東京（1989）
- 農林水産省：肥料取締法（1997年版）附則，「植物に対する害に関する栽培試験の方法」（1997）
- 大橋哲郎・俣野修身：黒ボク土野菜畑における牛ふんおがくず堆肥および被覆肥料由来窒素の溶脱，日本土壌肥料学雑誌，**74**（5），631～635（2003）
- 岡島秀夫：作物生育と土壌（新土壌学），pp.226～244，朝倉書店，東京（1984）
- 六本木和夫：吸湿性の紐を利用した簡易なかん水装置の開発，日本土壌肥料学雑誌，**72**（6），783～785（2001）
- サカタのタネ，シードグラフ製品説明書：神奈川（2000）
- 澁澤 栄・平子進一・大友 篤・李 民贊：リアルタイム土中光センサーの開発，農業機械学会誌，**61**（3），131～133（1999）

椎葉 究・神前 健・松本 聰：豚ふん堆肥の品質評価についての提案，日本土壤肥料学雑誌，74(3)，339～342（2003）

庄司貞雄：農法を変革するコーティング肥料，化学と生物，31，777～779（1993）

植物栄養実験法編集委員会 編：植物栄養実験法，p. 7～9，博友社，東京（1990）

瀧嶋康夫：種子根試験法の応用とその陰画記録法，農業及び園芸，35，1973～1975（1960）

谷本俊明（日本土壤肥料学会編）：わが国の野菜畑における塩集積の実態と改良対策（塩集積土壌と農業），pp. 71～95，博友社，東京（1991）

Topp,G.C., Davis,J.L. and Annan,A.P. : Electro-magnetic determination of soil water content : Measurement in Coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.*, 16, 574～582（1980）

Topp,G.C., Davis,J.L. and Annan,A.P. : Electro-magnetic determination of soil water content using TDR: I .Applications to wetting fronts and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 672～678（1982）

内山知二・山本定博・藤山英保・本名俊正：LEDを光源とする水分センサーによる砂質土壌の水分計測，日本砂丘学会講演要旨，50，26-27（2003）

植田徹・松口龍彦：窒素の循環（土壌生化学）pp. 111～129，朝倉書店，東京，（1994）

若澤秀幸：堆肥の腐熟度検定への花粉管生長テストの適用に関する研究，静岡農試特別報告，22，5～8（1999）

Williams,P.,and Norris,K. : *Near-Infrared Technology*, American Association of Chemists,Inc., Minnesota USA（1987）

- 山崎基嘉：大阪シロナの種子粒径の違いが発芽および生育に及ぼす影響，大阪農技セ研報，37，1～4（2001）
- 吉村 貢：中性子法による土壌水分測定法，農業機械学会誌，59（5），116～120（1997）

## SUMMARY

### **An Evaluation of Nitrogen Availability in Soils by Seedling Method**

**Tomoji Uchiyama**

As a plant nutrient, nitrogen is the most important component of agricultural production; there are numerous pieces of research regarding the evaluation of available nitrogen in soil. A method of measuring nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contained in soil extracts, microbes, a method of burying a test specimen in soil using an incubation technique, and the like are performed as analytical techniques for available nitrogen. A consistent evaluation can be obtained in a short period of time with a method to determine the quantity of nitrate nitrogen, which is rather fixed as an indicator of available nitrogen in farmland. In recent years, however, opportunities to reexamine the spread of controlled-release fertilizers and the effects of organic materials such as compost have broadened; settings in which nitrogen nutrients in soil are not necessarily evaluated with the nitrate nitrogen content alone have increased. In addition, a

testing method using plants has been stipulated in Japan's Fertilizer Control Law to ensure the safety of fertilizer and an orientation towards emphasizing seedling experiment using rape, *Brassica chinensis* var. *Komatsuna*, as an evaluation technique has been indicated.

The test crop for this seedling experiment is assumed to be *Brassica chinensis* var. *Komatsuna* in principle and temperature control is in principle kept within a range of 15 °C to 25 °C. Thus, evaluation of this testing, with regard to the same rape variety implemented at the same time, remains at indicating indexes for growth when a standard fertilizer was given and when test materials were given and a comparison of the two. Then I examined a selection of *Komatsuna* cultivar and devised an improved seeding method. All 9 cultivars of *Komatsuna* showed a high germination percentage and high germination rate at temperatures above 25 °C. At the lower temperature of 15 °C, many of them germinated later. "Hamami-nigou" showed a high germination rate in a broad range of temperatures including the low temperature band. The seeded sheet method was compared with the usual method using 4 kinds of soils. Germination was more stable with the seeded sheets and plant growth showed no difference between the two methods. In addition, the fact that the growth of rape can differ substantially due to environmental conditions is easy to imagine. Comparison with other test results may simply not be possible or differing evaluations with

respect to the same materials may be rendered depending on the circumstances.

Thus, improvement of cultivation test methods was investigated, given that investigation of a test variety including methods of planting and equalization of cultivation environment are first important in making seedling experiment more effective. In addition, objectives of the research were to compare methods via conventional analytical techniques and a seedling experiment for evaluation of available nitrogen in soil through the provision of test conditions that are highly reproducible and to investigate the effectiveness of methods via a seedling experiment.

A cultivation device with artificial lighting and soil-temperature-controlled chamber was constructed to equalize the cultivation environment and an automatic sprinkler using an optical moisture sensor that is not affected by ground salts was investigated along with effects of the device. As a result, the fact that an environment can be constructed where the growth of rape is stabilized by a simple device equipped with lighting needed for control of ground temperature and cultivation of seedlings became apparent. With lighting for a small-scale cultivation system, fluorescent lamps are a promising light source and lighting sufficient for plant growth has been ensured.

It is known that the Time Domain Reflectometry (TDR) or Amplitude Domain Reflectometry (ADR) method conventionally used for measuring soil moisture at

the levels found in field experiments requires correction under the condition of high salt concentrations. Hence, for measuring the moisture content of river sand containing salts, we developed a method based on near-infrared spectrometric sensor using a light-emitting diode at 1450 nm, which is the absorption wavelength of water. An optical sensor was used to measure the reflected light. It was found that this sensor was not affected by fertilizer containing ammonium sulfate, urea, potassium chloride and magnesium sulfate adjusted to a concentration of 0.1 mol L<sup>-1</sup>. The sensor was not also affected by a sodium chloride solution of the same concentration. When 0.1 kg kg<sup>-1</sup> of sea water in 1, 10, 100 and 1000 dilutions was added and tested using the ADR method, the effect was stronger at the higher concentrations. However, when tested with the near-infrared spectrometric sensor, it was not affected regardless of the sea water concentration. These results confirm that this sensor can be used conveniently for moisture determination in sandy soils having a high salt concentration. In addition, an automatic sprinkler using the sensor displayed performance equivalent to that of a hand sprinkler in semi-closed Neubauer's pots in which there are problems with moisture regulation.

Moreover, a seedling experiment was performed with equalized cultivation conditions and evaluation of available nitrogen by determination and incubation of nitrate nitrogen, conventional methods, was compared. As a result, capacity to supply nitrogen nutrients above that evaluated by analytical techniques has also

been clarified in uncultivated soil with little available nitrogen for compost of cattle feces, which is generally assumed to have a minimal fertilizing effect.

Combining the results obtained with the current research, the seedling experiment technique has not been adequately used as an evaluation technique for available nitrogen until now and it will become a technique that is highly useful as a method of evaluation for vast agricultural resources through equalization of the cultivation environment.

学会誌公表論文

1. ノイバウエル幼植物試験における播種済みシートの利用

内山知二・山口武則・磯部武志・生雲晴久・渡辺高秀

日本土壌肥料学雑誌 第74巻 第2号 p. 199～201 (2003)

本論文の第2章の一部に相当

2. 光学式水分センサーによる砂質土壌の水分計測における塩類の影響

内山知二・山本定博・藤山英保・本名俊正

日本砂丘学会誌 第50巻 第3号 (2004)

本論文の第3章の一部に相当

2 0 0 4

土 壌 中 の 可 給 態 窒 素 評 価 に お け る  
幼 植 物 試 験 の 方 法 と そ の 意 義

2004年3月 発行

編 集 内 山 知 二

発 行 〒 5 8 3 - 0 8 6 4

大 阪 府 羽 曳 野 市 羽 曳 が 丘 7 - 1 6 - 9

E-mail [uchiyama@agr.pref.osaka.jp](mailto:uchiyama@agr.pref.osaka.jp)

印 刷 所 ひ ま わ り ぷ り ん と