

熱帯地域におけるココナツコイアを利用した作物の
養液栽培および耕地への還元利用に関する研究

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

生物圏資源科学専攻

博士（農学）学位論文

浦山 久

熱帯地域におけるココナツコイアを利用した作物の
養液栽培および耕地への還元利用に関する研究

目次

第1章 緒論	1
1-1 熱帯農業の現状と課題	1
1-2 ココヤシの生産とココナツコイア	2
1-3 ココナツコイアの性質と研究の歴史	3
1-4 養液栽培における有機質培地利用の現状と意義	5
1-5 養液栽培装置の動向	6
1-6 省エネルギー型養液栽培装置への有機質培地の利用と 圃場への還元利用	7
第2章 ココナツコイアを用いた野菜の省エネルギー型養液栽培	12
第1節 キュウリの短期栽培	13
2-1-1 材料および方法	13
2-1-2 結果および考察	15
2-1-3 まとめ	18
第2節 ニガウリの長期栽培	19
2-2-1 材料および方法	19
2-2-2 結果および考察	21
2-2-3 まとめ	24
第3章 ココナツコイアを用いた水稻苗の養液栽培	42
第1節 ココナツコイア培地で養液栽培した水稻苗の生育特性	43
3-1-1 材料および方法	44
3-1-1-1 培養液濃度の影響	44
3-1-1-2 苗の生育と生理特性	45
3-1-2 結果および考察	46
3-1-2-1 培養液濃度の影響	46
3-1-2-2 苗の生育と生理特性	46
3-1-3 まとめ	48
第2節 ココナツコイア培地で養液栽培した水稻苗の移植後の生育および収量	50
3-2-1 材料および方法	50
3-2-2 結果および考察	51
3-2-3 まとめ	52

第4章 養液栽培に使用したココナツコイアの畑地への還元利用	62
第1節 ポット栽培のキュウリに対する施用効果	63
4-1-1 材料および方法	63
4-1-2 結果および考察	65
4-1-2-1 (1) 使用済みココナツコイアの理化学性	65
4-1-2-2 (2) キュウリの生育と収量	66
4-1-3 まとめ	67
第2節 畑地の野菜栽培に対する施用効果	68
4-2-1 材料および方法	68
4-2-2 結果および考察	70
4-2-2-1 (1) キュウリの生育と収量	70
4-2-2-2 (2) 土壌の理化学性	70
4-2-2-3 (3) 後作に対する効果	72
4-2-3 まとめ	73
第5章 ココナツコイア培地による養液栽培を導入した作付体系の経営評価	83
5-1 材料および方法	84
5-2 結果および考察	85
5-3 まとめ	92
第6章 総合考察	98
6-1 ココナツコイアを用いた野菜の省エネルギー型養液栽培	99
6-2 ココナツコイアを用いた水稻苗の養液栽培	99
6-3 養液栽培に使用したココナツコイアの畑地への還元利用	100
6-4 省エネルギー型養液栽培への有機質培地利用の意義	101
6-5 ココナツコイアの特徴	103
6-6 有機質培地適用の範囲と課題	105
6-7 有機質資源を利用した作物の養液栽培を導入した作物体系	107
6-8 まとめ	109
摘要	111
謝辞	113
引用文献	114

第1章

緒論

1-1. 熱帯農業の現状と課題

熱帯・亜熱帯地域では厳しい気候や土壌条件のため、農地の拡大は限られている。これら地域の気温は、日較差・年較差が少なく、降水量の年変動が大きい。加えて、雨期・乾期が明確でスコール性の降雨があるなど作物にとって特異的である。土壌は高温、多湿等の条件により有機物の分解が早く、腐植が少なく、土壌改良も難しい。また、塩基置換容量は高いものの吸着性が低く、侵食抵抗性および保水性も低い地域が多く、一般に物理化学性が劣る。また、有機物の分解がはやいことから土壌の生物相も少ないものと考えられている。このため、作物の土地生産性は低く、農家は輪作、混作等を導入して作付体系、作付様式を多様化させ、集約度を高め、必要最低限の収量を維持しているのが現状である。しかしながら、最近では気候変動はじめ温暖化など地球規模での環境の変化が農業生態系にも影響を及ぼしつつあり従来の方法では生産を維持しきれなくなっている。

有機質資材の投入量が少なく、投入効果も小さいこれらの地域では土地生産性の向上に加え、今後は自給生産から換金作物生産に向けて品質も高めていかなければならない。多数を占める小規模自給農家は伝統農法を基礎に現存する有機物の利用を高め、従来の作付集約度、耕地の利用度をさらに強化する必要がある。そのためには土壌改良、肥沃度の維持に加え、土壌の保全に努めることが先決であり、土壌理化学性の向上を基礎に伝統農法の技術を発展させるために当地にて容

易に入手できる有機質資源の有効利用が強く望まれる。

1-2. ココヤシの生産とココナツコイア

ココヤシ (*Cocos nucifera* L.) はヤシ科に属する木本性単子葉植物で熱帯地方の代表的な植物である。果実の胚乳部分を火力または天日で乾燥したもの（コプラ）が油脂原料として広く利用される。その他、ヤシ油、飼料用ヤシ粕、料理用ココヤシミルク、食品用ココヤシ粉、活性炭の原料であるヤシ殻、ココヤシ繊維（コイア）などが副産物として多数生産されている（加藤、1998）。世界のココヤシ生産量はおよそ5千3百万tであり、約84%はアジア諸国で生産されている。なかでもインドネシア（1563万t）、フィリピン（1370万t）の生産量が最も多く、次いでインド（950万t）、スリランカ（185万t）、タイ（142万t）となっている（Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2003）。生産国においてココヤシの利用は生活に密着しており、食住に直接関係するほか、換金作物としての価値も高い。

その全てが利用可能と言われているココヤシは果実の利用価値が特に高い。コイア（Coir）は植物学用語である果実（Fruit）の中果皮（Mesocarp）からとった繊維質部分で粉（Dust）も含み、外果皮（Exocarp）とあわせてハスク（Husk）と呼ばれ、内果皮（Endocarp）のヤシ殻（Shell）と区別されている（Fig. 1-1）。コイアから抽出された繊維は紐、ロープ、敷物、寝具、さらに車のシートなどに加工されている（杉村、1989）。コイアの世界総生産量は約103万tであり、アジア諸国が約98万8千tでおよそ96%を占めている（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008）。これらの生産量は、近年増加傾向にあるものの、ココヤシの生産量に比べると僅かであり、利用率

はいまだに低く産業廃棄物として処分されているのが現状である。

このように、コイアは利用されずに産業廃棄物の粉碎粉、コプラ利用後の残渣として豊富に存在しているため、今後は養液栽培用培地、土壌改良資材など、農業用に多くの利用が期待されている。コイアと外果皮に当るハスクには多量のカリウムと塩素が含まれ 1 トンのコプラを生産するのに窒素; 16.2 kg、カリウム; 30.1 kg、塩素; 19.7 kg が持ち出されると言われている。さらに、塩素含量が高く、塩化ナトリウムを年間個体当たり 4 kg 以上与えたとき、年間の個体当たりコプラ量が約 2 倍弱増加し、塩素の肥効が確認されたとの報告もある (杉村、1993)。また、葉内の塩素含量の増加が水分ストレスの影響を緩和し、生育障害を軽減することが明らかにされている。肥培管理の指標は樹冠部中央に位置する第 14 葉の栄養診断を基にしており、乾物重当りの最低必須量 (%) は N: 1.8-2.0、P: 0.12-0.13、K: 0.8-1.0、Ca: 0.32、Cl: 0.45-0.50、S: 0.15 となっている (杉村、1989)。

1-3. ココナツコイアの性質と研究の歴史

ココナツコイアの農業上、とくに園芸作物への利用は 1940 年代までさかのぼる。当時はココナツコイアの利用可能性には注目していたが、実用化にまでは至らなかった (Meerow, 1994)。しかし、1970~80 年代にオーストラリア、ヨーロッパにてピートモス類 (Sedge peat, Sphagnum peat) に代わる水耕培地として試験されてからは、1980 年代にオランダの企業、さらにイギリス Surrey 州にあるキュー王室庭園にてコイアが培地利用されると徐々にその利用が波及していった。

1990 年代に入るとピートモス類に代わる園芸作物用水耕培地として、その利用効果の研究が欧米を中心に盛んになり、同時にスリラン

カにおいて原材料の加工プラントに対する投資が盛んに行われるようになった。コイアの高いリグニン、セルロース含量は他の有機質培地に比べて酸化による化学的性質の変化、収縮等の物理的性質の変化が少なく、ピートモス類等の有機質培地より耐久性に優れた特性も確認されつつある。しかしながら、品質管理においては過度の塩素、および家畜糞尿の混入など、汚染問題も無視できない。また、ココヤシの未熟果実から繊維を抽出する場合は、海水や塩水を利用するため、抽出後のコイア等副産物の塩類含量が問題になっている (Meerow, 1994)。

一般にロックウールなどの無機培地は、玄武岩あるいは輝緑岩と鉄鉱石の鉱さいなどにケイ石を混合して 1,500°C で高温溶解し、遠心力と高圧空気で太さ数 μm の繊維状にした人造鉱物繊維である (加藤、2002)。よって、製造過程で多量の二酸化炭素が発生し、使用後の廃棄処理に費用がかかるなど環境負荷が著しい。これに対して、ピートモス類等の有機質培地は入手や使用後の処理が容易で再利用が可能である。しかしながら、自生するミズゴケには供給に限りがあり、価格が不安定である。さらにその乱獲が沼沢地の生態系に影響を及ぼし新たな環境問題を誘発しつつある (Stamps and Evans, 1997)。

有機質培地の理化学性の解明は 90 年代に多くなされ、Cresswell (1992) はピートモス類 (Sedge and sphagnum peat) に比べてココナツコイアの優れた物理的安定性、吸排水性、養分供給能を報告した。化学性では他の有機質培地に比べて塩素含量が高く (Cresswell, 1992; Handreck, 1993)、ナトリウムは灌水時に容易に取り除かれることが指摘されている (Handreck, 1993)。Meerow (1994) は使用前に水洗することにより、塩素およびナトリウム含量の作物への影響はほとんどなくなるとしている。また、コイアのカリウム含量は採取地にかかわらず

ほぼ一定であるが、塩素含量は採取地、加工法によりばらつきが大きいとの報告もある (Evans and Stamps, 1996; Konduru et al., 1999)。さらに、Handreck (1993) はピートモスと比べてコイアは Ca, S, Cu, Fe が欠乏傾向にあると報告している。窒素に関しては物理的な吸着、もしくは分解時の固定 (Handreck, 1993; Meerow, 1994; Arenas et al., 2002) が報告されているものの未だ明らかにされておらず、利用に際し作物ごとの適切な肥培管理が必要とされている。

1-4. 養液栽培における有機質培地利用の現状と意義

ココナツコイアの物理特性はピートモスと比べて 1) 保水性が高い、2) 排水性が良好、3) 圧縮梱包が可能で復元力にも富む、4) 分解が非常に緩やかである。その他、採集時に生態系に影響しない、雑草および病虫害の汚染が他の有機質培地に比べて少ないことが報告されている (Scagel, 2003; Abad et al., 2005)。

養液栽培で用いられる固形培地には大きく分けて無機質と有機質がある。さらに有機質培地は天然有機物と有機合成物に分けることが出来る。ただし、ポリウレタン等の有機合成培地は化学的には不活性であるため無機質培地に含まれることが多い。無機質培地の代表的なものにはロックウール、礫等がある。ロックウールはわが国の養液栽培施設面積の 49 % を占める固形培地で 89 % の利用率を占めている (宇田川、2000)。有機質培地は天然有機物としてコイア、ピートモス、バーク (樹皮培地)、もみ殻が一般に利用されている。

培地が具備すべき条件として 1) 変位変性が少なく均一、2) 作物の有効水が十分確保できること、3) 養分の吸着が無いこと、4) 有害物質を含まないこと、5) 廉価で入手しやすいこと、6) 病原菌・雑草の

種子等に汚染されていないこと、7) 使用後の処理が容易で安全に出来ることがあげられる。このなかで無機質培地は主に 1)、2)、3)、4)、6) に特徴があり、有機質培地では 2)、5) の傾向にある。ロックウールに代表される無機質培地は主に塩基置換容量 (Cation exchange capacity, CEC) は無視できるほど低く化学的に不活性で緩衝能が無い。これに対して、有機質培地では緩衝能はあるものの養分の吸着、塩類集積が起こりやすい。以上の特徴はそれぞれの培地の長所でもあり、短所でもあり得る。また、栽培装置および作物との関係も無視できず、特に循環型の装置ではロックウールのように緩衝能が小さい場合、培養液の変動が生じやすく濃度に偏りが生じやすくなる。そのため、培養液成分の濃度を一定に保つために精密な機器を必要とし、その管理には高額なシステムが必要とされる。これに対して、コイア等の有機質培地では無機質培地に比べると CEC が高く、緩衝能のある培地であり (加藤、2003; 浦山ら、2005)、培養液の成分組成の変動を抑えることが期待できる。無機質培地が人工的に作物の生育をコントロールしやすいのに対して、有機質培地は安価で精密な管理を必要としない利点がある。

1-5. 養液栽培装置の動向

最近の養液栽培は循環型の装置が主流で養液管理はより複雑、高額化の傾向にある。現在、日本で用いられている養液栽培方式は 10 種類以上あると言われている。土耕栽培と同等の収益をあげるためには 10 a 相当の養液栽培システムの購入に 400 万円が必要と言われ、さらに光熱動力費、肥料費等が重なり多額の施設償却費が必要になる。このように養液栽培は高額でそのほとんどが培地を含む栽培システムの

取得額に割り当てられ、部分的なシステムの導入、システム方式の改良による省力化、効率化が見直されている（竹山、2003）。培地も同様でそれぞれの用途、作物に合わせてより多様化してきている。このような栽培装置では無機質培地の特性は十分に活かされるものの有機質培地においては有利なシステムとは言い難い状況にある。

一般に、養液栽培では作物の生育を人為的に制御する考えのもとで無機質培地、肥料の改良に加え、装置・栽培システムが著しく進歩してきた。しかしながら、有機質培地は土壌に近い性質を持ち、養液栽培になじみがない農家でも受け入れ易く、最近では環境への負荷も考慮し土耕栽培の良さも見直されつつある。よって、土にかわる身近で安全な有機質培地利用の養液栽培はその発展の可能性が十分あると考えられる。

1-6. 省エネルギー型養液栽培装置への有機質培地の利用と圃場への還元利用

熱帯に位置する開発途上国では高価な養液栽培装置はほとんど普及していない。日本の集約的農業技術に対して開発途上国では、電気供給が不安定であること、施設・管理装置のための資金・技術の欠如等の理由から技術の導入は非常に難しいのが現状である。また、不良土壌や病害虫の多発など作物の生育阻害要因も多く、さらに減農薬による生産物の安全性の向上および環境負荷の低減化が必要となっている。

省エネルギー型の養液栽培装置は不良土壌地域での栽培阻害要因を軽減するため考案された(Sakuma and Suzuki, 1997)。この装置は電力を必要とせずに露地に設置出来、重力による養液の灌水と毛管作用による作物への養分供給からなる。構造も単純で専門知識を持たない者で

も容易に扱える特徴がある。それゆえに、熱帯・亜熱帯の途上国地域向けの普及も意識され、これまでに果菜類、葉菜類の栽培に成功している (Thippayarugs et al., 2001)。さらに現地にて容易に取得できる培地を利用し持続的な生産に向けてその経済効果も検討されている (Thippayarugs et al., 2001)。

有機質資源は欧米では園芸資材としてかなり普及しており、これら素材原料はピートモス以外、熱帯地域が原産である。スリランカ、フィリピンに代表されるココナツコイア、西アフリカ諸国におけるカカオ、オイルパーム等の乾燥殻等がある。さらにもみ殻、バーク、バガスも検討されているが多くは実用化には至っていない。また、東南アジアでは作物、特に稲作において苗床に有機質資材の利用が盛んになりつつある。特にダポッグに代表されるマット苗の育苗では苗の養分不足を補うために堆肥の施用も行われている。さらに、育苗培地そのものにもみ殻、燻炭もみ殻、バガスの施用効果も期待されている。わが国の有機質資材による水稻育苗の培地利用は水稻移植栽培における苗搬出作業、灌水作業等の負担軽減を目的として研究開発がされてきている。山形県、栃木県でのもみがら培地の利用 (佐藤ら、1977; 大谷・菊池、1999)、富山県でのバーク堆肥利用による軽量水稻培地の開発 (沼田ら、2001) などはその地域の有機質資源を有効に利用しようとしたものである。

有機質培地はじめ有機質素材はその再利用が可能である。ココヤシは胚乳に多くの窒素を含み、コイアはカリウム含量が高いと言われている。生産地での慣行栽培は無施肥が多いことから、これらは圃場に還元することも提唱されている。特に副産物としてのコイアは栽培に要した土壌の無機成分の減少を補償することができるとも言われている。

る (杉村 1993)。また、ココナツコイアはリグニン等を多く含んでいるため分解されにくく、土壌改良資材としても有効である (Thongjoo et al., 2005)。このような有機質培地の圃場での再利用は作物生産性等、有機物の多面的な機能効果が期待できるものと考えられる。

以上のことから、本研究は熱帯・亜熱帯地域の開発途上国に多い野菜と水稻栽培の小規模自給農家を対象として生産効率の向上を念頭に有機質資源の有効利用を検討するものである。ここでは特に研究の中心を熱帯地域に代表される有機質副産物の一つであるココナツコイアの養液栽培への利用と圃場での作物栽培における再利用の可能性を明らかにする。

第2章では、安価で電力を必要としない省エネルギー非循環型の養液栽培装置を用いてココナツコイアを培地にキュウリを栽培し、初期1ヶ月の収量、培地中の養分濃度、葉中の成分濃度をロックウール培地と比較する。さらに、養液栽培装置が非循環型であるために塩類集積による障害も予想し栽培期間がおよそ2倍のニガウリを供試する。そして、供給養液の濃度を2分の1とし、培地中の養分濃度、収量、品質、葉中成分濃度への影響をロックウール培地と比較検討する。

第3章では、ココナツコイアを水稻の育苗培地として養液栽培を行い、市販の育苗培土と比較してその特性を検討する。はじめに様々な濃度の養液をココナツコイア培地に吸収させて播種し、育苗培土で養成した苗と比較して最適養液濃度を調査する。その後、最適濃度の養液を与えたココナツコイア培地を用いて育苗し、手植え苗(中苗)の生育を育苗培土で養成した苗と比較する。さらに、ポットおよび圃場でココナツコイア培地で育成した苗の移植後の分けつ特性、栄養生長期の生育、収量を育苗培土で育成した苗と比較する。

第4章では、使用済みコイアの土壌還元の可能性を明らかにするため、土壌養分の変化と作物の生育・収量への影響を調査する。ポットを用いてキュウリの生育と収量を調べるとともに、畑地に施用して40日間キュウリを栽培し施用効果を評価する。そして、その後約3年間異なる種類の野菜を栽培し生育・収量を調査する。

第5章では、湿潤熱帯地域において小規模農家を対象にココナツコイア培地を用いた省エネルギー型養液栽培装置による野菜作を導入した場合の作付体系の経営評価を行い、作付体系再編の可能性を検討する。

総合考察では、本研究で得られた結果を基に、熱帯・亜熱帯地方の小規模自給農家への有機質培地を利用した養液栽培導入と有機質培地の畑地への還元利用、これらの技術による作付体系の高度化の可能性を議論する。

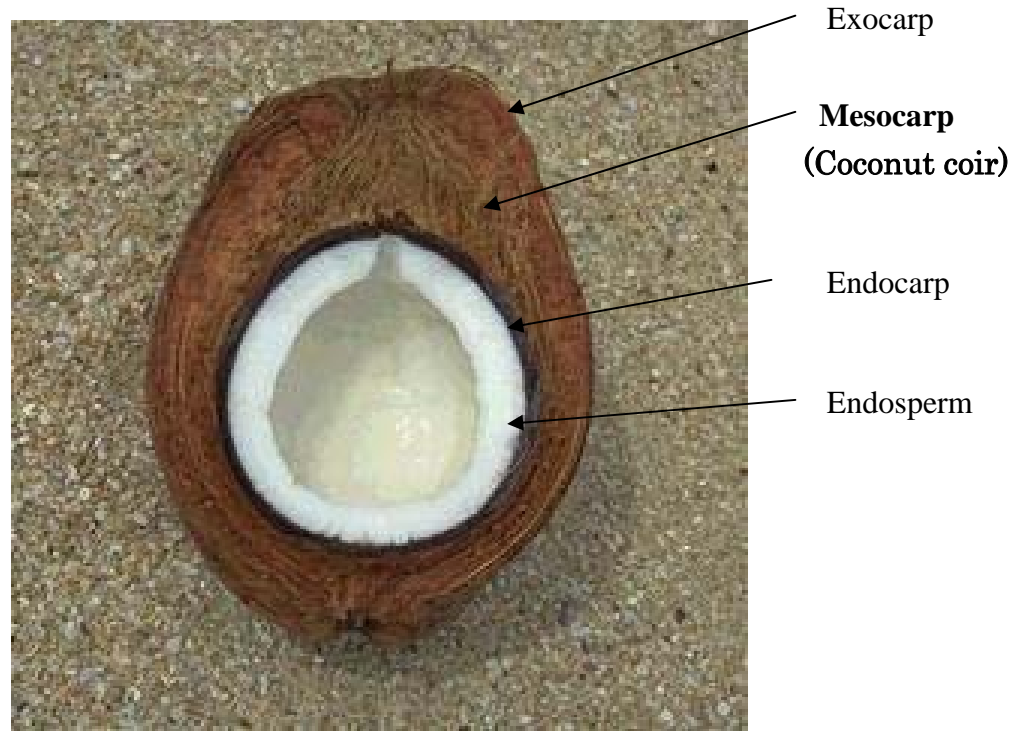


Fig. 1-1. Longitudinal section of coconut fruit (*Cocos nucifera* L.).

第2章

ココナツコイアを用いた野菜の省エネルギー型養液栽培

ココナツコイアはココナツの果皮から繊維を取り出す過程で発生する余剰産物であり、使用後には土壌へ還元することも可能である。ココナツコイアの利用についてはすでにトマト (坂東、1999; Shinohara et al., 1999; Arenas et al., 2002)、花き (Meerow, 1994) などの生産に利用されており、その理化学性や利用法 (Stamps and Evans, 1997; Islam et al., 2002; Chulaka et al., 2003) も研究されている。

省エネルギー非循環型の養液栽培装置 (Sakuma and Suzuki, 1997; Thippayarugs et al., 2001; 2002) は建設費用が安価で、かつ電力を必要とせず、開発途上国でも比較的容易に利用出来る。タイや我が国の石垣島において本装置にロックウールを培地に用い野菜栽培に成功した例が報告されている (Sakuma and Suzuki, 1997; Thippayarugs et al., 2001; 2002)。

本章では、製作コストも低く技術的にも容易に自作可能で、開発途上国でも導入可能な装置による養液栽培の普及を目的とし、ココナツコイア培地によるキュウリとニガウリの栽培を試み、本装置の可能性およびココナツコイア培地の特性をロックウール培地と比較検討する。

第1節 キュウリの短期栽培

省エネルギー型養液栽培装置は非循環型であるため培地中の養分の集積が考えられる。本節では、本装置を用いて約2ヶ月間キュウリを栽培し、収量および可販果率を調査するとともに、栽培期間中の養液濃度や保持される交換性陽イオン量の変化、キュウリ葉中の成分濃度への影響を解析する。

2-1-1. 材料および方法

節成り性キュウリ (*Cucumis sativus* L.、品種:アンコール10、ときわ研究場) を供試し、2003年8月7日に播種、8月14日にココナツコイア (タイ国産、スーパーベラボン; 株式会社フジック) とロックウール (中粒粒状綿、55R; 日東紡績) を充填したポットへ鉢上げし、本葉5枚展開時となった8月27日に国際協力機構 (JICA) 筑波国際センターのパイプハウス内に設置した簡易養液栽培装置に定植した。各ベッドにはポットと同じココナツコイア培地あるいはロックウール培地を入れ、キュウリ苗を株間50cm、うね間40cmにて1ベッド10株ずつ植え付け、3反復で栽培した。定植後の温度管理は気温を18~30℃の範囲とした。この装置は非循環型で、培地ベッド (縦:294.5cm, 幅:60.0cm, 深さ:8.0cm)、養液タンク (500L) で構成され、養液タンクを培地ベッドより高い位置に設置することにより、塩化ビニルパイプでベッドに接続して重力にて養液を供給するものである (Fig. 2-1-1)。培地ベッド端の液たまりにはボールタップ (フロートバルブ) が取り付けられており、一定の水位が保てるようになっている。培地ベッドの底には縦長に溝を設け、ポリエチレンシートを敷いて養液の供給溝とし、毛管力のある給水シート (ジャームガード2mm厚,7210S; 東洋紡績) および防根シート (防根透水シート, BKS0812G; 東洋紡績) を重ね、供給溝へ根の侵入を防ぎつつ培養液が毛管作用によって培地に供給されるようにした。培

養液は大塚ハウス 1 号および 2 号 (大塚化学) の標準濃度で供給した。養液供給溝における各組成の濃度は EC (電気伝導度) 2.6 dS m^{-1} 、 $\text{NO}_3\text{-N}$: 18.2、 $\text{PO}_4\text{-P}$: 1.9、 K : 9.1、 Ca : 2.6、 Mg : 2.5 mol m^{-3} 、pH 6.4 であった。ベッド上面にカバーは設置せず供給された養液はキュウリの蒸散および培地表面からの蒸発量に応じて供給された。キュウリ株は、主茎 1 本仕立てとして、21 節、およそ 180 cm の高さに達した時点で摘心し、各節からの側枝は 2 葉で摘心した。収穫は 9 月 30 日から開始し、11 月 9 日に終了した。各ベッド 7 株ずつを調査し、収穫果は可販果 (サイズ: およそ 21 cm の正常果、100~120 g) と曲がり果とに分類した。

葉中の無機成分の分析は、10 月 24 日に主茎第 10 から 12 葉を採取し、乾燥粉末化し、分析試料とした。試料はマッフル炉で 480°C で乾式灰化し、リン酸はモリブデン酸青の比色法により、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法により、窒素は全窒素炭素測定装置 (SUMIGRAPH NC-90A) により定量した。タンクから供給される養液および生育最盛期 (定植後 40 日) にココナツコイア培地、ロックウール培地の各ベッドの中央、両端、計 3 箇所のベッド底面約 8 cm の培地から約 30 mL の養液を手で搾り取った。これらの培養液を EC、pH および各養分濃度の測定に供した。硝酸態窒素は比色法、リン酸はモリブデン酸青による比色法、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法により定量した。使用前のココナツコイア培地に含まれる窒素、炭素含量は前述の全窒素炭素測定装置により測定した。ココナツコイア培地、ロックウール培地の交換性塩基は、生育最盛期 (定植後 40 日) の培地をベッド中央より両端に近い底面より約 5 cm の高さで 2 箇所より採取し、乾燥粉末化した試料を土壌分析法 (Tan, 1996) にしたがって、1 M 酢酸アンモニウム (pH 7.0) で交換された塩基を原子吸光法により分析した。

栽培終了時の培地の物理性に関しては、培地に採土管 (容積: 85.2 cm^3 、直径: 4.74 cm、高さ: 4.83 cm) を 2 個各ベッド両端やや中央よりの底面に培地の攪

乱を避けながらゆっくりとベッド底面に設置した。採土管内の培地が攪乱されているおそれもあるので、管内を周囲と平衡に到達させるため 1 週間後に取り出して、105℃で乾燥させ、仮比重、真比重、三相分布率の測定に供した。

2-1-2. 結果および考察

実験期間中のパイプハウス内温度は天井部の遮光・遮熱ネットおよび側部透明寒冷紗および農ビフィルム展張カーテン装置の取り付けによりキュウリの適温 20~25℃に保つことができた。また、培地温度もココナツコイア培地、ロックウール培地とも 15~20℃の範囲で殆ど差が無く経過した。調査に供した全株が健全株であり、本栽培装置においてココナツコイア培地、ロックウール培地ともキュウリの生育に支障を来たすようなことはなかった (Fig. 2-1-2)。株あたりの収量はココナツコイア培地とロックウール培地間に有意差 (5%) が認められた (Table 2-1-1)。また、キュウリ栽培においてココナツコイア培地がロックウール培地と同等以上の収穫が期待できることがわかった。品質に関しては各培地総収量から、可販果 (正常果) 数、非可販果 (まがり等の乱形果) 数を調べ、可販果率を求めた結果、有意差は認められなかった。収穫期間が 1 ヶ月強という短期間であったので、本収量調査は初期収量であるが、本実験の条件下ではココナツコイアは十分に使用可能であると結論された。

葉中の無機成分は Table 2-1-2 に示す通り培地間に差が認められず、植物体内の栄養状態としてはほぼ等しいと思われた。また、生育最盛期の各培地に保持されている養液の分析結果 (Table 2-1-3) は pH、硝酸態窒素、マグネシウムにおいて培地間に差が認められないものの、EC およびカリウム、カルシウム、リン酸の各成分濃度に有意差が認められた。ココナツコイア培地の EC およびカリウムの濃度はロックウール培地のほぼ 2 倍であり、リン酸濃度では 8 倍であった。しかし、カルシウム濃度はロックウールのそれに対して約 10 分の 1 で、

各成分に著しい違いが認められた。これらの成分測定 (Table 2-1-3) と供給養液の濃度を比較すると両培地ともに成分が培地中に集積していた。特にココナツコイア培地における養液の EC は供給養液の 2.3 倍を示し、カリウムの濃度はロックウール培地で 2 倍、ココナツコイア培地では 4 倍に上昇した。マグネシウムではロックウール培地で 2.3 倍、ココナツコイア培地では 1.8 倍に、リン酸ではロックウール培地で約 2 倍、ココナツコイア培地では約 17 倍にまで養液が集積していた。ロックウール培地によるトマトの栽培でも養液中のリン酸濃度の低下が報告されており (岩崎ら、1999b)、本実験でもロックウール培地でのリン酸の集積程度はココナツコイア培地より低く保たれたのであろう。一方、カルシウムは、ロックウール培地で供給培養液の 1.8 倍に集積していたにもかかわらず、ココナツコイア培地ではその濃度が低下していた。このような各成分の著しい違い、とくにココナツコイア培地にみられる高 EC 値、高濃度のカリウム、リン酸にもかかわらず、先に記したようにキュウリの初期収穫期までの生育は順調で、培地による品質、生育中の葉の栄養状態 (成分含量) にもほとんど差は認められなかった。一般に野菜の葉中の窒素、リン酸、カリウム、カルシウムの含有率は、それぞれ 1.5-6.0、0.2-1.0、1.5-7.0、0.4-7.0% (Geraldson and Tyler, 1990) で、圃場で栽培したキュウリ葉を分析した結果では、それぞれ 2.2-3.2、0.25-0.30、3.5-4.2、3.7-11.8% であった。これらと比較して、両培地のキュウリ葉の成分含有率は高く、生理的に養分吸収の限界に達していたものと推察される。この生育段階ではまだ外見上、また、生理的な障害も認められなかったが、さらに栽培期間を長くすると、濃度障害を生じる可能性も考えられた。使用前と使用中 (生育最盛期) の両培地の交換性塩基量を比較した (Table 2-1-4)。使用前のロックウールの全交換性塩基量は少ないが、養液に触れる (使用中) と増加する。一方、ココナツコイア培地では使用中に全交換性塩基量が減少した。なかでもカルシウムは 2 分の 1 以下に減少した。ココナツコイア培地

を用いると養液中のカルシウム濃度も原養液の約5分の1にまで低下していた。これらの結果はココナツコイア培地がカルシウムを吸着固定することを示唆している。また、ココナツコイア培地は、培地として使用中に有機物の分解によると思われる C/N 比の低下がみられた(Table 2-1-5)。塩基置換容量も大きく(Chulaka et al., 2003)、本実験でも $CEC=56 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ であった。このようなココナツコイア培地の大きい CEC は養液の濃度変化に対する緩衝機能が大きい(Miller and Gardiner, 2001) と考えられるが、ココナツコイア培地の養液にみられるカリウムの高濃度の集積はこの緩衝能を超える濃度変化があったと推察される。

培地の物理性について仮比重、真比重、孔隙率および三相分布率を測定し、Table 2-1-6 に示した。ココナツコイア培地では仮比重および真比重はそれぞれ、 0.077 および 1.19 g cm^{-3} 、ロックウール培地では 0.258 および 2.49 g cm^{-3} であった。ココナツコイア培地の理化学性は産地により異なり、仮比重も 0.04 から 0.08 g cm^{-3} の差のあることが報告されている (Evans and Stamps, 1996)。孔隙率は、ココナツコイア培地では 93.5% 、(気相： 38.9 、液相： 54.6%)、ロックウール培地では 89.6% (気相： 16.2 、液相： 73.4%) でロックウール培地に関して同様な結果 (92.0%) も報告されている(Fonteno and Nelson, 1990)。ここではココナツコイア培地の気相率はロックウール培地の2倍高く、液相は逆にココナツコイア培地で低かった。培地の利用可能な液相域は $20\% \sim 60\%$ と示されている(Evans and Stamps, 1996)。これらのことから供試したココナツコイア培地はロックウール培地に比べ、保水性は小さく通気性が良いものと考えられる。ココナツコイア培地は粗い粒子の割合が高く、過剰の養液供給を抑え作物の根群分布に好適な条件を与えているものと考えられる。

キュウリの根は比較的長い主根と作土表層近くに広がる多くの毛細根から成っているとわれ、土壌表層 30 cm 以内の浅い部分に広い根群を形成する。こ

これはキュウリが多く酸素供給を必要とする特性を持つからである。したがってココナツコイア培地の気相率が高いことはキュウリの特性に合致するものである。

2-1-3. まとめ

電力を必要としない省エネルギー非循環型の養液栽培装置を用い、有機副産物であるココナツコイアを培地としてキュウリの栽培を試み、本装置の可能性およびココナツコイアの特性をロックウールと比較検討した。その結果、ココナツコイア、ロックウール両培地ともキュウリは旺盛に生育した。キュウリの収量はココナツコイア培地区で16%高かった。また、可販果率も高くなる傾向を示した。培地の化学性を比較すると、生育期間中に各培地から抽出した養液の分析結果では、両培地とも硝酸態窒素、カリウム、マグネシウム、リン酸の集積がそれぞれ確認できた。一方、使用前に比べ、ココナツコイア培地ではカルシウム濃度が半分以下であった。このことから、ココナツコイア培地ではカルシウムが培地に固定されることが示唆された。このように、各成分濃度の著しい違いにもかかわらず葉中の無機成分含量にはほとんど差が認められなかった。

以上のことから、キュウリ栽培においてココナツコイア培地がロックウール培地と同等の収量、品質の得られることが示された。しかし、本実験はキュウリの収穫の初期およそ1ヵ月強の結果であり、実用化のためにはさらに長期にわたる栽培、次作への影響等の検討が必要である。

第2節 ニガウリの長期栽培

キュウリの栽培では、本装置 (培地容量：14 L/株) によりココナツコイア培地とロックウール培地で、培地中における養分の集積程度に差のあることを認めた。しかしながら、キュウリの収量、品質、葉中無機成分には差は認められなかった。トマトでは、180 L の培養液を昼間 1 時間あたり 2 分間供給した循環型ドリップ給液システムで、先の両培地を利用した養液栽培において供給養分濃度を標準濃度の 1/2 にしても収量は低下しない結果が報告されている (Shinohara et al., 1999)。非循環型である本装置による栽培では、生育が進むにつれて培地中の塩類集積が起こり、生育、品質、収量に影響を及ぼす恐れも考えられる。また、作物の種類によっても生育に差が出てくるものと考えられる。

よって、ここでは栽培期間が前節のキュウリより 2 倍近く長いニガウリを供試し、培養液濃度を標準培養液の 2 分の 1 として栽培したときの培地中の養分濃度、収量、品質、葉中養分濃度への影響をココナツコイア培地とロックウール培地で比較し、本装置でのココナツコイア培地利用の可能性を明らかにする。

2-2-1. 材料および方法

ニガウリ (*Momordica charantia* L.、品種：太れいし、タキイ種苗) を供試し、2004 年 4 月 7 日にココナツコイア (タイ国産、スーパーベラボン；株式会社フジック) およびロックウール (中粒粒状綿、55R；日東紡績) 充填の 10 cm 径のポットに播種し、5 月 24 日 (本葉約 10 枚展開時のニガウリ苗) に、ココナツコイアまたはロックウールを培地とした養液栽培装置に各ベッド 3 株、株間 100 cm として国際協力機構 (JICA) 筑波国際センター内のパイプハウスに定植した (Fig. 2-2-1)。定植後、ハウス内の平均気温を 25°C ~ 30°C に保ち、培地温度も記録した。収穫期にあたる盛夏には、パイプハウス内の温度上昇をふせぐため、

ハウスには遮光・遮熱ネットを設置し、側部にも透明寒冷紗のカーテンを取り付け、常時開帳状態にした。ニガウリでは、整枝法が収量に大きく影響すると報告されているが (Joshi et al., 1994)、定植後は7および8葉から発生する側枝を2本伸ばし、これら以外の子蔓はすべて摘心して主茎を含め3本仕立てとした。これら3本の枝は20~21節目、およそ180cmの高さに達した時点で摘心した。ニガウリの収穫は、7月初旬から8月末まで続け、果実が裂開する前の果長を収穫適期と決めて、収量(曲がり果および裂果を除いた)・品質(果長10~16cmを正常果とし、商品価値として評価される果実長)を調査した。

この装置の主要構成部分は、培地ベッド(縦:294.5cm、幅:60.0cm、深さ:8.0cm、1株あたりの培地量:47L)とベッドより高い位置に設置された給液タンク(20L)から成っている(浦山ら、2005)。このタンクからパイプを通じて培養液はベッドに供給される。培地ベッドの端の液だまりのボールタップ(フロートバルブ)によりベッド内水位は一定に保たれ、培養液は排水も循環もしない。培地ベッドの底には縦長に溝を設け、培養液の供給溝とし、毛管力のある供給シート(ジャームガード2mm厚、7210S;東洋紡績)および防根透水シート(BKS0812G;東洋紡績)を敷いて給液溝への根の侵入を防ぎつつ培養液が毛管作用によって培地に供給されるようにできている。各ベッドにはココナツコイアまたはロックウール粒状綿(いずれも育苗に用いた培地と同種)を充填した。培養液は大塚ハウス1号および2号(大塚化学)の標準培養液(標準濃度区)と2分の1濃度(1/2濃度区)を用いた。4処理区2反復とし、合計8ベッドで実験をおこなった(Fig. 2-2-2)。標準濃度区ベッドの供給培養液のECおよび養分濃度を測定したところ、EC:2.6 dS m⁻¹、pH 6.4、養分濃度はNO₃-N: 18.2、PO₄-P: 1.9、K: 9.1、Ca: 2.6、Mg: 2.5 mol m⁻³であった。ベッド上面にはカバーは設置せず、養液はニガウリの蒸散およびベッド表面からの蒸発量に応じて供給される。

ニガウリ生育最盛期の7月26日に、各ベッドの中央、両端、の3個所でベッ

ド底面から約 8 cm まで培地の一部を採取し、手で絞り養液を採取し養分の分析に供した。培養液中の硝酸イオン(Mulvaney, 1996)、リン酸イオン (モリブデン青) は比色法により、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法により分析した。

収穫盛期の 8 月 11 日に採取した果実 (各株 10 果ずつ採取) を窒素含量の分析に供した。また、栽培終期の 10 月 6 日には葉を採取 (各株の上端より 10 葉位まで) し、無機成分の分析に供した。窒素は全窒素炭素測定装置 (SUMIGRAPH NC-90A) により測定した。また、葉試料を乾式灰化後、リン酸はモリブデン酸青による比色法、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法により分析した。

定植時および栽培終了時の培地の三相分布の測定については、採土管 (直径: 4.74 cm, 高さ: 4.83 cm) をベッドの中央および両端付近の 3 箇所の底面に設置し、管内と周囲の水分状態を平衡に到達させるため、1 週間放置した後に取り出し、105°C で乾燥させた後秤量した。また、標準濃度養液での培地による無機成分の固定 (吸着)、または溶出量を明らかにするため未使用の培地 (乾燥重: 10 g) を標準濃度培養液 (150 mL) に浸し、時々攪拌しながら室温 (15 ~ 20°C) に置き、液中の養分濃度の経時的変化を追跡した。

2-2-2. 結果および考察

各処理区のハウス内平均気温は、ニガウリの適温である 25~30°C に保つことができた。また、培地内平均温度も 20~25°C で両培地間に差はみられず、給液の総量もほぼ等しかった。このように、ココナツコイア、ロックウール両培地とも気温、地温の面ではニガウリが健全に生育できる条件であった (Fig. 2-2-3)。

株あたりの正常果収量は、ココナツコイア培地では 1/2 濃度区で高く、標準濃度区の 1.4 倍であった (Fig. 2-2-4)。ロックウール培地では培養液濃度による

差はみられなかった。1/2 濃度区ではいずれの培地とも株あたり収量はおよそ 5.8 kg であった (Fig. 2-2-4)。株あたりの果数 (Fig. 2-2-4) は、ココナツコイア培地の標準濃度区で最も多かった。これは、ココナツコイア培地の標準濃度区において、比較的果重が軽く、細めの果実が多数収穫されたためである。熱帯地域のインドにおける標準土耕栽培 (Mangal et al., 1981) で、株あたりの平均果数 : 21、株あたりの平均収量 : 3.9 kg と報告されており、いずれの培地・培養液濃度区でもそれよりは多かった。一方、果長には培地および養液濃度による差はみられなかった (Fig. 2-2-4)。果実重の大きい果実はココナツコイア培地では 1/2 濃度区で多い傾向にあり、前節のキュウリ (浦山ら、2005) 同様ニガウリにおいても 1/2 濃度区ではロックウール培地と同等の収量が得られた。また、ロックウール培地に比べ、品質 (果長) にも差のないことから、ココナツコイア培地が十分使用可能な培地であることが明らかになった。循環型ドリップ給液システム (1/2 培養液; EC: 1.4 dS m⁻¹、pH: 6.2、NO₃-N: 9.1、P: 2.9、K: 4.3、Ca: 5.2、Mg: 2.8 mol m⁻³) によるトマト栽培では、すでにココナツコイア培地とロックウール培地で収量に差のないことが示されており (Shinohara et al., 1999)、本実験でも同様な結果が得られた。

生育盛期 (7 月 26 日) の培地中における培養液の EC および養分濃度を Fig. 2-2-5 に示した。これらの養分濃度を供給養液の濃度と比較すると、ココナツコイア培地標準濃度区では全ての養分濃度に 5~9 倍の著しい集積がみられ、EC も供給養液濃度の約 3.5 倍の値を示した。しかし、1/2 濃度区のカリウム、マグネシウムは 2~3 倍の集積にとどまった。ロックウール培地においても標準濃度区においてリン酸以外の各養分で 5~7 倍の集積がみられたが、1/2 濃度区ではカルシウム以外の養分濃度は低下し、特にリン酸濃度の低下は著しかった。1/2 濃度区における両培地中の養分濃度はマグネシウムを除き、久場 (2004) の NFT システムによるニガウリ栽培の収穫期の養液濃度に近かった。標準濃度区のリン

酸およびカリウム濃度がココナツコイア培地とロックウール培地で異なるのは、培地による養分の吸着や溶出による影響も考えられる。このため栽培試験とは別に室内実験でこれら養分の溶出、吸着を経時的に追跡したところ、養分の溶出、吸着反応は培地材料を標準濃度の養液に浸漬した 30 分後には確認できた。これらの反応は比較的速やかに進行し、カルシウムの吸着とカリウムの溶出は 24 時間以内に平衡状態に達した。ココナツコイア培地では、カルシウムの吸着 (Fig. 2-2-6A) とカリウムの溶出 (Fig.2-2-6B) が、また、ロックウール培地ではカルシウムの溶出 (Fig. 2-2-6C) とリン酸の吸着 (Fig. 2-2-6D) が認められた。ここでは (培地 : 養液重量比 = 1 : 15) ココナツコイア培地のもつ交換性カリウム (浦山ら、2005) の 50% が溶出され、ロックウール培地では養液中のリン酸の 15% が固定されたことになる。ココナツコイア培地のカリウム含量は、 $127 \text{ mg L}^{-1} \sim 236 \text{ mg L}^{-1}$ と産地により異なるが、高い濃度にあることが報告されており (Konduru et al., 1999)、ココナツコイアを含めバガスチャコール、もみ殻くん炭、落花生殻くん炭など有機質素材の水溶性カリウム含量の高いことも報告されている (Chulaka et al., 2003)。トマトのロックウール養液栽培では、養液中のリン酸濃度の低下が指摘されている (岩崎ら、1999b)。ココナツコイア培地によるカルシウムの吸着は前節においても示唆された。

収穫終了後、10 月 6 日のニガウリ葉中の無機成分濃度を調べた (Table 2-2-1)。これらを両培地間で比較すると、ロックウール培地の標準濃度区における葉の窒素濃度は、ココナツコイア培地区におけるそれらより高いが、その原因を推測するのは困難である。また、1/2 濃度区における葉の窒素濃度は両培地において土耕栽培の葉 ; N: 3.23、 P_2O_5 : 0.519、 K_2O : 4.67、Ca: 2.95、Mg: 0.57% = N: 2.30、P: 0.07、K: 0.10、Ca: 0.74、Mg: 0.24 mol kg^{-1} 乾物 (久場、2004) より高い。このことから、これらの養分濃度は植物による要求をみたす以上に吸収され、過剰吸収による生理的障害は示していないものの機能的には不必要ないわゆる

「ぜいたく吸収」の部分があるものと考えられる。一方、収穫盛期（8月11日）の果実の窒素含量は、いずれの培地でも標準濃度区の果実（2.10~2.12 mol N kg⁻¹ 乾物）で 1/2 濃度区の果実（1.34~1.70 mol N kg⁻¹ 乾物）より高かった。しかし、これらを土耕栽培の果実の窒素濃度（久場、2004; 2.56% = 1.82 mol N kg⁻¹ 乾物）と比較すると、1/2 濃度区果の窒素濃度は土耕栽培果より低かった。

標準濃度区における定植 3 ヶ月後の両培地の容積重、孔隙率、真比重、三相分布などの物理性を、使用開始時（定植時）と比較した（Table 2-2-2）。両培地で孔隙率に 3 ヶ月の使用による大きな変化はなく、気相率が増加し、液相率の減少がみられた。産地の異なるココナツコイア培地を検討した結果として、孔隙率: 85~89%、容積重: 0.04~0.08 g cm⁻³ の測定結果が報告されている（Evans and Stamps, 1996）。気相率の増加によって、トマトでは根圏の空気と接する根（湿気中根）が多くなり、根の成長の促進、果実の増収がみられたという報告がある（坂本ら、2001）。本実験によるココナツコイアの栽培中の気相率（64.9%）は、ロックウール（37.6%）より高く、酸素供給を多く必要とし、土壌表層近くの根から養水分を吸収するニガウリ（Thampatti et al., 1993）には好適な条件となったものと考えられる。

2-2-3 まとめ

ココナツコイアを培地とした盛夏の約 3 ヶ月の栽培では、標準濃度区のココナツコイア培地中の養分濃度は、生育盛期で供給養分濃度の 5~9 倍に上昇した。同培地 1/2 濃度区ではカリ濃度は 2 倍に上昇したが窒素とリン酸濃度は低下した。しかし、ニガウリ葉中の養分濃度は 1/2 濃度区の窒素を除き、既報の土耕栽培の葉で見られる養分濃度より高かった。このように、ココナツコイア培地を使用し、培養液濃度を 1/2 とすることにより、本装置を利用したニガウリの栽培は十分可能であることが明らかになった。なお、ココナツコイア培地での

連続栽培には前作により変化した培地養分濃度を調製し、より安定した培養液組成や濃度管理を検討する必要がある。

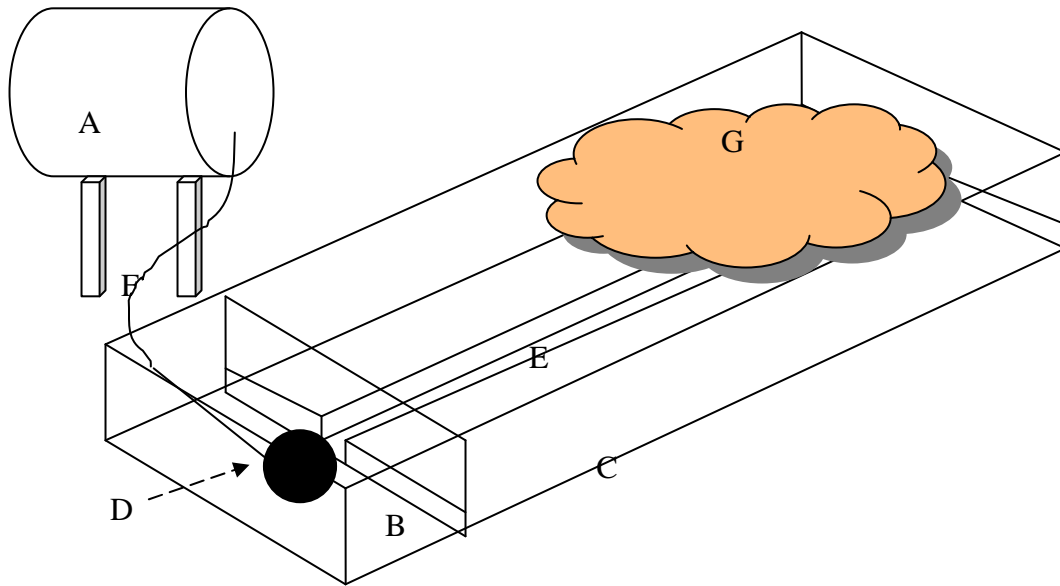


Fig. 2-1-1. Illustration of the energy-saving hydroponic system (Sakuma and Suzuki, 1997).
A: nutrient solution tank, B: tank for adjusting the solution level, C: culture bed,
D: floating bulb system, E: longitudinal canal, F: connecting tube, G: media.



Fig. 2-1-2. Cucumber grown in energy-saving hydroponic system.

Table 2-1-1. Averaged cucumber yield of marketable fruits in each medium.

Medium	Average fruit yield ^{a)} (kg plant ⁻¹)	Percentage of marketable fruits (%)
Rockwool	1.69	67.6
Coconut coir	2.01	71.6
Significance	*	ns

^{a)} Fruits were harvested during the period between September 30 and November 9, 2003.

ns, *: Nonsignificant and significant at $P < 0.05$ by t-test, respectively.

Table 2-1-2. Chemical constituents of cucumber leaves^{a)} grown in rockwool and coconut coir media.

Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
Rockwool	4.6	1.3	4.6	1.5	10.8
Coconut coir	4.4	1.2	4.7	1.7	9.9
Significance	ns	ns	ns	ns	ns

^{a)} Three leaves from the 10th leaf onward (including 10th leaf) were collected from each 3 plants per plot for chemical analysis.

^{ns} Nonsignificant at $P < 0.05$ by t-test.

Table 2-1-3. EC, pH and nutrient composition of solution in rockwool and coconut coir.

Treatment	EC (dS m ⁻¹)	pH	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	P
			(g m ⁻³)				
Rockwool	3.3	6.9	425.3	713.7	188.3	139.0	120.7
Coconut coir	6.0	6.3	473.3	1441.3	19.0	108.3	1016.7
Significance	*	ns	ns	*	*	ns	*

ns, *: Nonsignificant and significant at $P < 0.05$ by t-test, respectively.

Table 2-1-4. Exchangeable cations in rockwool and coconut coir*.

		K	Mg	Ca
		(mmol kg ⁻¹ dry medium)		
Rockwool:	Unused	2.1	0.8	11.0
	Exposed to nutrient solution	11.3	8.8	41.0
Coconut coir:	Unused	145.6	27.1	67.8
	Exposed to nutrient solution	78.7	32.9	28.0

* Average determination for two samples from separate bed.

Table 2-1-5. Nitrogen and carbon contents in coconut coir*.

	N	C	C/N
	(%)		
Unused	0.4	49.6	132.5
Exposed to nutrient solution	0.4	46.1	108.0

* Average determination for two samples from separate bed.

Table 2-1-6. Physical properties of coconut coir and rockwool after being used for 3 months to grow cucumber.

	BD ^{a)} (g cm ⁻³)	TPS ^{b)} (%)	PD ^{c)} (g cm ⁻³)	Liquid phase (%)	Gas phase (%)	Solid phase (%)
Rockwool	0.3	89.6	2.5	73.4	16.2	10.4
Coconut coir	0.1	93.5	1.2	54.6	39.0	6.5
Significance	**	*	*	**	**	*

^{a)} Bulk density, ^{b)} total pore space, ^{c)} particle density.

*, ** Significant at $P < 0.05$, 0.01 by t-test, respectively.

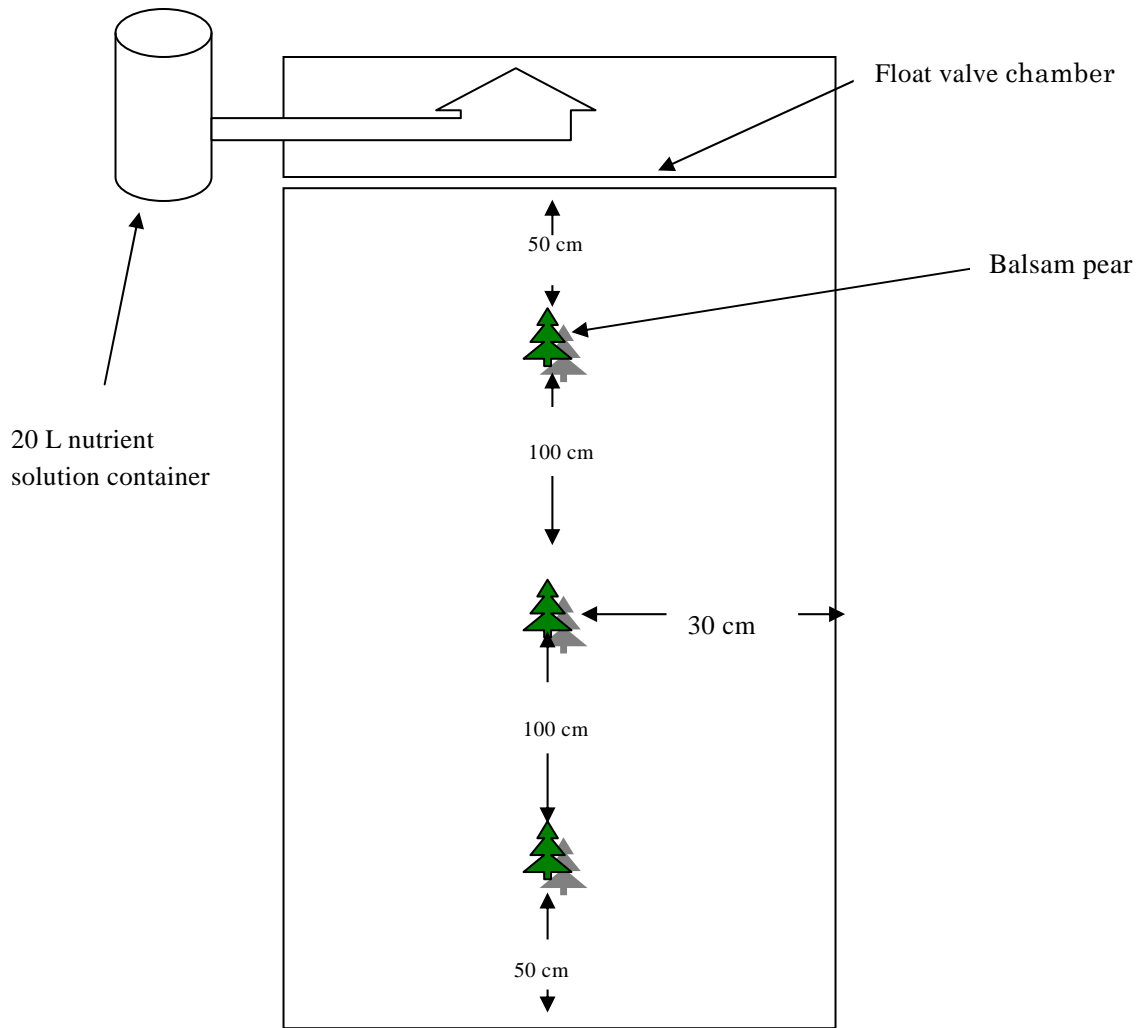


Fig. 2-2-1. Layout of treatment in energy-saving hydroponic system.

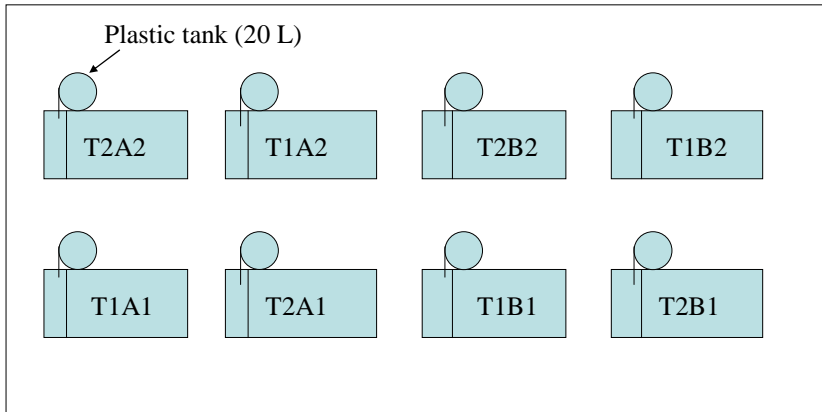


Fig. 2-2-2. Layout of experiment. T1: Coconut coir, T2: Rockwool
A: Full strength, B: Half strength



Fig. 2-2-3. Balsam pear grown in coconut coir media and rockwool media
by energy-saving hydroponic system.
At left; rockwool media, at right; coconut coir media.

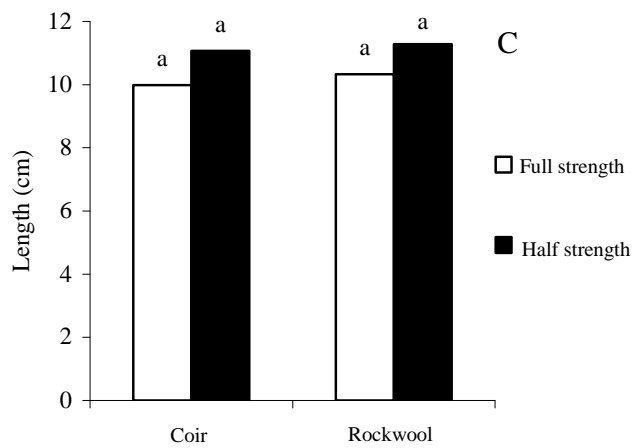
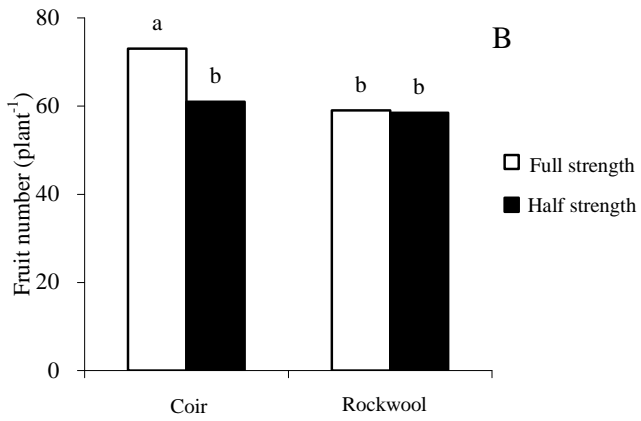
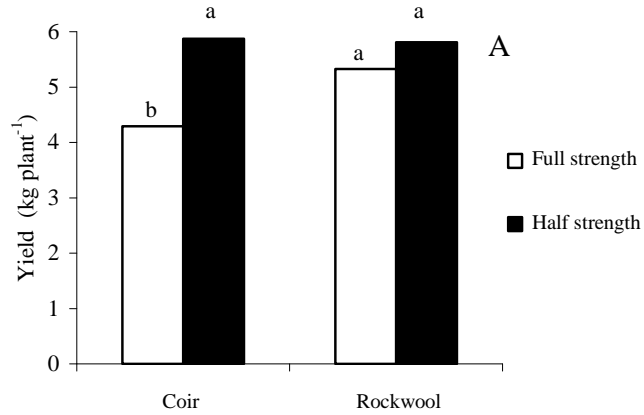


Fig. 2-2-4. Effects of growing media and concentration of nutrient solution on yield of marketable balsam pear fruits (A), number of fruits per plant (B), average fruit length (C). Means with the same letter above the bar are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test (n=2).

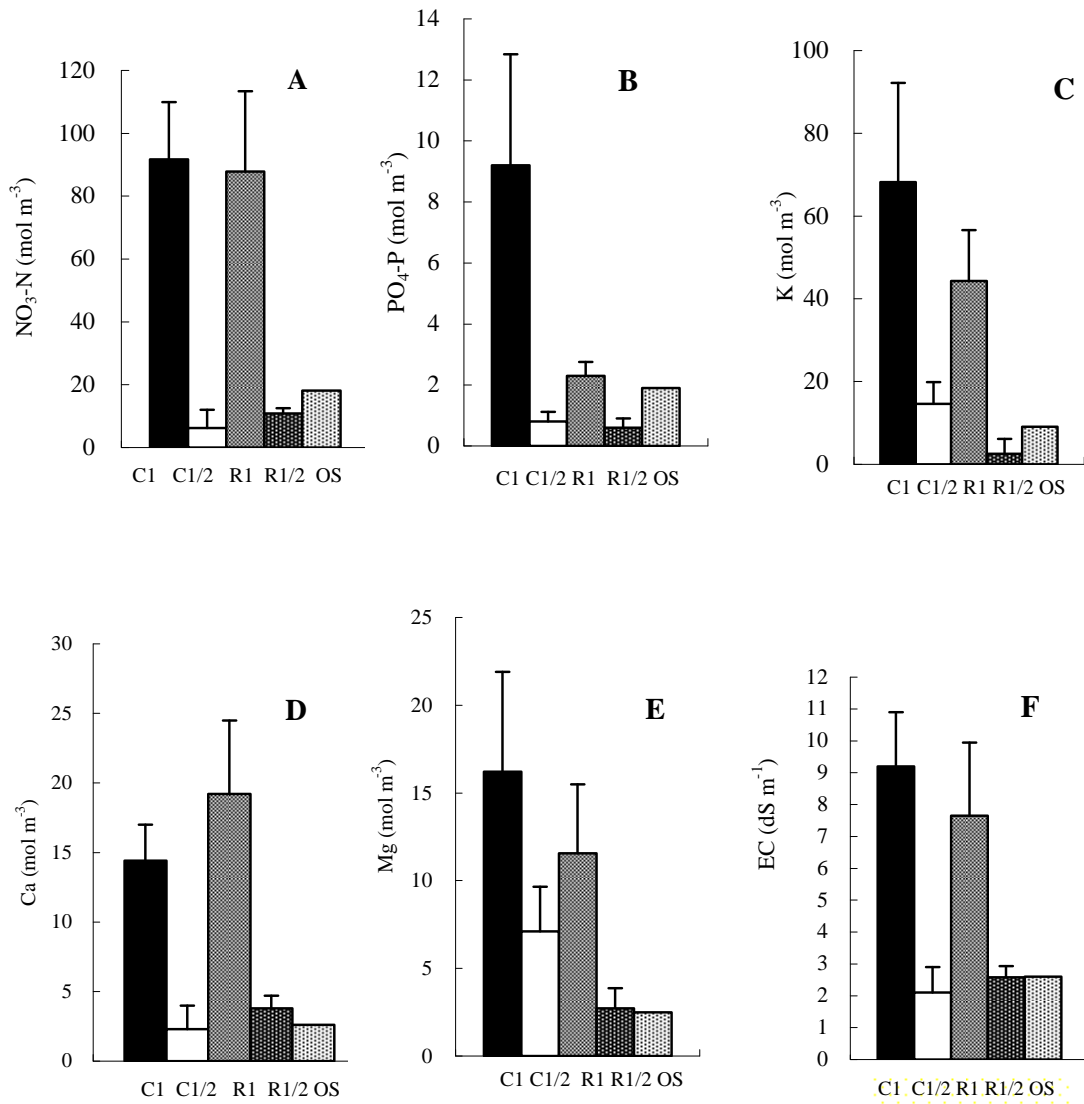


Fig. 2-2-5. Concentration of NO₃-N (A), phosphate (B), potassium (C), calcium (D), magnesium (E) and EC (F) in the solution extracted from the growth media on July 26, 2004 (time of vigorous plant growth). C: coconut coir, R: rockwool, 1: full strength, 1/2: half strength, OS: original solution (mol m⁻³), NO₃-N (18.2), P (1.9), Ca (2.6), Mg (2.5), EC; 2.6 dS m⁻¹, pH; 6.4. Vertical bars (n=6) indicate +standard deviation.

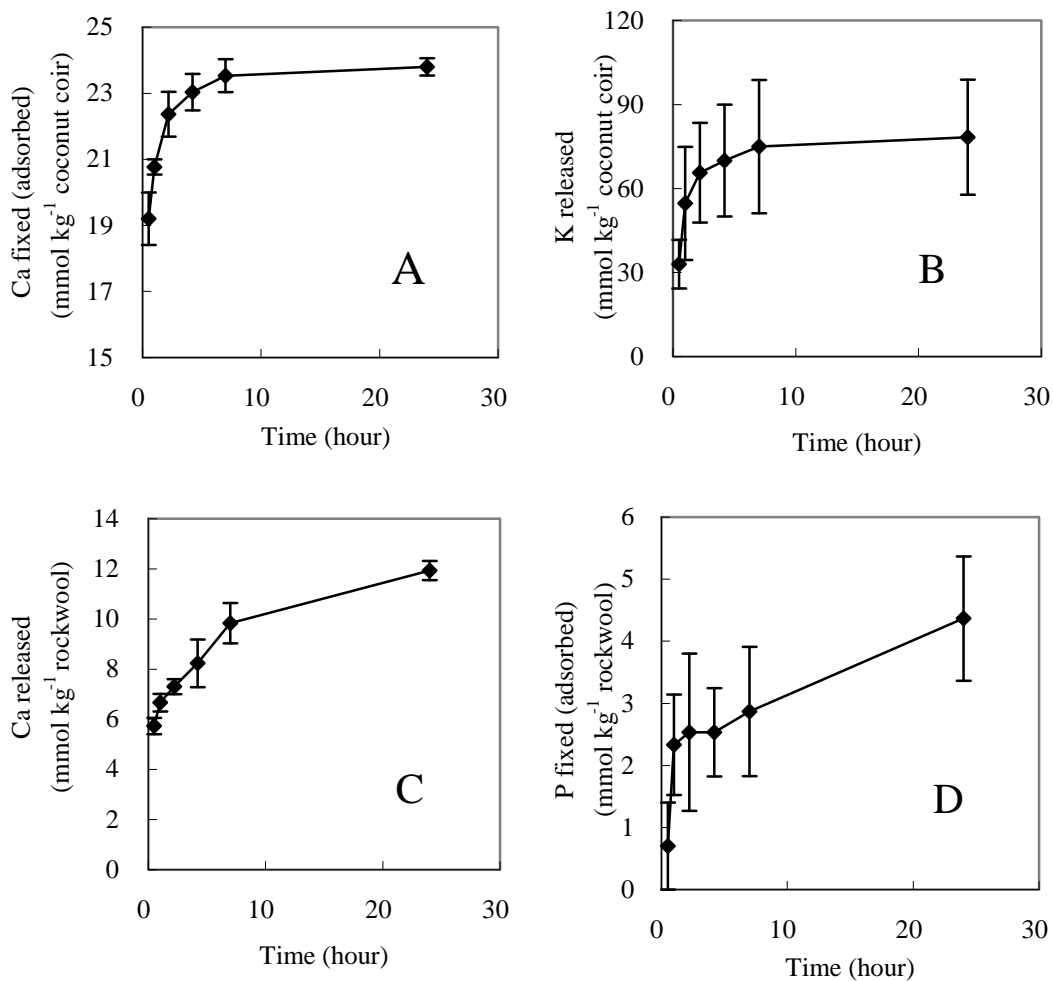


Fig. 2-2-6. Release or adsorption (fixation) of mineral nutrients from/by the media submerged in standard solution; (A): adsorption of Ca by coconut coir, (B): release of K from coconut coir, (C): release of Ca from rockwool, (D): adsorption of P by rockwool. The media were exposed to the nutrient solution and changes in the nutrient concentration in the solution were monitored during 24 hours. Vertical bars indicate \pm standard deviation (n=6).

Table 2-2-1. Effect of nutrient concentration on the leaf constituents in balsam pear grown in different media.

Treatment		N	P	K	Ca	Mg
		(mol kg ⁻¹ dry tissue)				
Rockwool	Full strength	2.78 a ^z	0.18 a	2.19 a	1.09 a	0.39 a
	Half-strength	2.12 bc	0.18 a	1.75 bc	1.18 a	0.42 a
Coconut coir	Full strength	2.35 bc	0.19 a	1.97 ab	1.01 a	0.42 a
	Half-strength	2.01 c	0.20 a	1.61 c	1.10 a	0.37 a

^z: The values followed by the same letter(s) within the column are not significantly different at 5% level by DMRT (n=6).

Table 2-2-2. Changes in the physical properties of the growth media after three-month cultivation of balsam pear.

Media	Stages	BD ^a (g cm ⁻³)	TPS ^b (%)	PD ^c (g cm ⁻³)	Three phases (%)		
					Liquid	Gas	Solid
Rockwool	At setting	0.26	89.6	2.49	64.3	25.4	10.4
	After three months	0.25	92.4	2.49	54.7	37.6	7.7
	Significance	*	*	n.s.	*	*	*
Coconut coir	At setting	0.09	92.9	1.19	42.4	50.5	7.2
	After three months	0.10	95.3	1.19	30.5	64.9	4.7
	Significance	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*

^a: Bulk density, ^b: total pore space, ^c: particle density.

n.s, *: Non-significant and significant at $P < 0.05$ (n=6) by t-test, respectively.

第3章

ココナツコイアを用いた水稻苗の養液栽培

省エネルギー型養液栽培装置は初期投資が少なく、野菜類の水耕栽培の知識経験がなくても容易に利用できる。熱帯地域の小規模な稲作農家は変動の少ない気候条件等により、作物を自由に選択できるため、収益性の高い野菜類を導入した作付けを望んでいる。

熱帯・亜熱帯地域にて多数を占める自給的稲作農家は小規模水田で移植栽培を行っているが、これらの自給的稲作農家に野菜類を導入する場合、作付体系や労力競合の問題から水稻育苗の省力化が求められる。現在、当該地域の水稻育苗には水苗代、畑苗代、ダポック苗代および改良型ダポック苗代の4種類の苗代が利用されている。特に改良型ダポック苗代は堆肥等の有機物を施用し、もみ殻、ビニルシートなどバナナの葉以外の資材を利用するものでマット育苗としてフィリピンはじめ南アジア地域で広く普及しつつある(Escarbarte et al., 2005)。今後、養液栽培技術を導入するなど改良が加えられ、さらに省力的な育苗技術の開発とともに耕地の集約化による生産性の強化が望まれるが実用化にはいたっていない。

本章では熱帯・亜熱帯地域の小規模な自給的稲作農家への省力・低コスト育苗技術の普及のため、ココナツコイアを培地に用いた養液栽培の可能性を検討する。

第1節 ココナツコイア培地で養液栽培した水稻苗の生育特性

稲作の盛んな熱帯・亜熱帯地域において移植苗の育苗に際し、様々な苗床が工夫されている。特に集約化の進む小規模稲作農家ではダボック苗代をはじめ、マット形態の苗代が普及しつつある。これらは、苗取りの労働およびそのコストを削減できること、場所を選ばずに短期間にて育苗できること、更に苗の運搬が容易であるなどの利点がある。しかしながら、頻繁な灌水や、肥培管理、植え付け時の苗取りによる断根、稚苗植えのための均平で水管理の容易な圃場の必要性などの欠点もある。

このような現状を踏まえ苗床の改良が進む中、特に有機質を利用した苗床による健苗の育成が注目されつつある。有機質培地は pH の調整が必要で、生育阻害因子の溶出などが懸念されるが、育苗および移植時の省力化を実現するとともに環境負荷も小さい (沼田ら、2001; 佐藤ら、1977)。日本においても、もみ殻などの有機物を利用した育苗の研究がなされてきている (大谷・菊池、1999)。

ところで、わが国ではロングマットを利用した水耕栽培で養成された苗が従来の育苗培土を用いた苗と遜色の無いことが解明され (田坂ら、1996; 1997; Wang et al., 1999) ある程度実用化されている。しかし、有機質資源を用いた養液栽培による育苗の報告はほとんどない。

本節では、ココナツコイア培地を用いた養液栽培による水稻育苗の可能性を検討する。そのため、コイア培地に加える養分の最適濃度を明らかにするとともに最適濃度で養液栽培した苗の生育を育苗培土で養成した苗と比較する。

3-1-1. 材料および方法

3-1-1-1 (1) 培養液濃度の影響

実験は、インド型水稻品種 (*Oryza sativa* L., 品種 'IR-28') を供試し、2007年に国際協力機構 (JICA) 筑波国際センター内人工気象室 (コイトロン; KG-50HLA, 株式会社小糸製作所) で実施した。ココナツコイア (ココブロック; スリランカ産 カネコ種苗株式会社) 66.5g を充填したアルミ箱 (105 × 160 × 30 mm) に 250 mL の培養液を浸漬し、種子消毒後約 1 mm に催芽した粳を乾粳で 0.3 kg m⁻² の密度で播種した。培養液は、NH₄NO₃ (N): 1.0 mM、NaH₂PO₄ (P): 0.6 mM、K₂SO₄ (K,S): 0.3 mM、CaCl₂ (Ca): 0.3 mM、MgCl₂ (Mg): 0.6 mM、Fe (III)-EDTA (Fe): 4.5×10⁻² mM (Mae and Ohira, 1981) を標準濃度とし、pH を 5.0 に調整した。培養液濃度を 5 段階に分け、標準濃度、標準濃度の 5 倍、10 倍、15 倍および 20 倍をそれぞれ CH-1、CH-5、CH-10、CH-15 および CH-20 区とした。育苗培地の湿潤状態を保つため適宜水道水 (pH 7.2) を灌水した。育苗培土区 (SM) は 350 g の粒状培土 (くみあい粒状培土 K、クレハ化学工業株式会社) を他の処理区と同様にアルミ箱に充填し、同量の催芽粳を播種した。粒状培土の養分量は 7.39 g m⁻² N、14.78 g m⁻² P₂O₅ および 12.93 g m⁻² K₂O であった。播種後アルミ箱を昼 25°C (12 時間)、夜 20°C (12 時間)、湿度 80%、光強度を 600 μmol m⁻²s⁻¹ に設定した人工気象室内に設置して育苗した。処理区は乱塊法にて 3 反復として、同様の実験を 2 度繰り返して実施した。

播種後 20 日目に各区から無作為に 5 個体抜き取り葉齢と草丈を測定した。また、葉緑素計 (SPAD 502, Minolta Co. Ltd.) で最上展開葉中央部の葉色値を測定した。水洗後、茎葉と根に分け、80 °C で 72 時間乾燥させ乾物重を測定した。

3-1-1-(2) 苗の生育と生理特性

種籾の準備および播種、育苗条件は実験1と同様である。本項では、前項で明らかになった最適養分濃度で育苗する区をCH区、また育苗培土を用いる区をSM区として各生育特性を比較調査した。

播種後11、15、19、23および27日目に各区5個体を抜き取り、葉齢、草丈を調べた。水洗後、茎葉、根および籾に分け、80℃、72時間乾燥して乾物重を調査した。また、5個体の根をFAA溶液で固定し、1次根と分枝根の数を調べるとともに、それぞれの長さを格子法(Tennant, 1975)で測定した。

生育調査とは別に5個体の葉身のクロロフィルおよびタンパク含量を調べた。クロロフィルは、細かく切断した葉身を抽出緩衝液(pH 7.5)中で磨砕し、磨砕試料にアセトンを加え、4℃の暗所で3時間クロロフィルを抽出した。その後、4℃、17,000gで10分間遠心分離し上澄の645nm、663nmの吸光度を分光光度計で測定し、クロロフィル量を算出した(Arnon, 1949)。

タンパク質は葉身を抽出緩衝液中で磨砕し、4℃、17,000gで20分間遠心分離し、可溶性および不溶性タンパク質画分に分離した。不溶性タンパク質画分は2% SDSを含む0.1N NaOH溶液を加え40℃で60分保持した後25℃、17,000gで20分間遠心分離した。可溶性タンパクおよび不溶性タンパク溶液は牛血清アルブミンを標準試料として、Lowry et al. (1951)の方法で定量した。

育苗終了前4日間のSMおよびCH区の乾物増加量から個体群生長速度(CGR)を求め、さらに葉身重をもとに計算した純同化率(NAR、以下、純同化率と記載する)、面積当り葉身重(LDW、以下、葉身重と記載する)を比較した。また、同期間のSMおよびCH区の第4葉身中央部を用い、酸素電極装置(ハンザテック社LD-2)で光合成速度を測定した(25℃、光合成有効放射量 $800 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。

3-1-2. 結果および考察

3-1-2-(1) 培養液濃度の影響

播種後 20 日目の苗の生育を Table 3-1-1 に示した。葉齢は CH-5 区を除き SM 区より CH 区の方がやや大きかったが、草丈、茎葉乾物重および乾物重・草丈比率 (SDW/L) は CH 区が劣る傾向にあった。また、CH 区の SPAD 値は SM 区より有意に小さかった。CH-15 および CH-20 区の根の乾物重は、他の区より有意に小さかった。CH 区の中では、CH-10 区が最も優れた苗の生育特性を示し、SPAD 値を除けば苗の生育に SM 区と遜色の無いことが明らかになった (Table 3-1-1)。

3-1-2-(2) 苗の生育と生理特性

前項で判明した最適養分濃度 (CH-10) で養液栽培した苗の生育と生理特性を育苗培土で養成した苗 (SM) と比較した。

播種後 11 日目から育苗終了までの茎葉、根および籾の乾物重の推移を Fig. 3-1-1 に示した。茎葉乾物重は CH 区、SM 区ともに播種後 15 日目までは同様に増加したが、播種 19 日後は SM 区の乾物重が CH 区より大きくなり 27 日目には有意差がみられた。播種 15 日後の根乾物重も CH 区より SM 区が大きく、19 日および 23 日目には有意差がみられた。しかし、籾の乾物重には CH 区と SM 区の間ほとんど差は認められなかった。

播種後 11 日目から育苗終了までの根の生育を Fig. 3-1-2 に示した。播種後 19 日目から育苗終了時の 27 日目まで SM 区より CH 区の 1 次根数が多かった。分枝根数は 1 次根数より著しく多いが、播種後 15 日以後 CH 区より SM 区に分枝根数が有意に多くなった (Fig. 3-1-2 A)。根長でも同様の傾向がみられ、1 次根の総根長は播種後 15 日目までは違いは見られなかったが、19 日目からは CH の区総根長が SM 区より有意に長くなった。しかし、分枝根の総

根長は CH 区より SM 区の方が長く、播種後 15 日目から 27 日目まで有意差がみられた (Fig. 3-1-2 B)。

播種後 11 日目から育苗終了時までの葉身のクロロフィル含量を Fig. 3-1-3 A に示した。クロロフィル含量は播種 19 日目から CH 区より SM 区の方が有意に多くなった。また、播種 19 日目以後、SM 区のクロロフィル含量が増加したが CH 区では減少した (Fig. 3-1-3 A)。葉身の可溶性、および全タンパク質 (可溶性および不溶性) 含量を Fig. 3-1-3 B に、個体当たり葉身の総タンパク質量を Fig. 3-1-3 C に示した。これらの値はいずれも播種 15 日目以後、CH 区に比べて SM 区の方が大きかった (Fig. 3-1-3 B,C)。

育苗終了前 4 日間の個体群生長速度 (CGR)、純同化率 (NAR)、葉身重 (LDW) および最上展開葉の光合成速度をそれぞれ Table 3-1-2 に示した。CH の個体群生長速度 (CGR)、純同化率 (NAR)、葉身重 (LDW) は SM より 28%、22%、23% 有意に低かった。CH の光合成速度も同様に SM より 13% 低く有意差が見られた。

ココナツコイア培地を利用した養液栽培は園芸作物では普及しているが水稻の報告は少ない。田坂ら (1996)、Wang et al. (1999) は、ロングマット水耕苗の茎葉乾物重が育苗培土で養成した苗より軽くなると報告している。

ココナツコイアは繊維質に富み、孔隙率は 93%以上、液相は 50%以上であり (Abad et al., 2005; 浦山ら、2005)、育苗培土の孔隙率 68%、液相 8.6%より顕著に大きい。第 2 章第 2 節ではキュウリ移植後 3 ヶ月目においてココナツコイア培地の液相と気相がそれぞれ 30.5%、64.9% であった (浦山ら、2007) のに対して、岩手県の調査によれば育苗培土では 8.6%、59.3% であった。Hoshikawa (1989) は、豊富な土中酸素含量が分枝根を発達させると報告している。本実験では、ココナツコイア培地の孔隙率が育苗培土より高く、飽水状態に保持したことにより孔隙内の液相率を高め、さらに昼間の高温が根の

呼吸を促進して酸素含量を低くしたものと考えられる。このことから、本節ではココナツコイア培地の酸素含量が少なく、分枝根の発達を制限したものと示唆される。他方、ココナツコイアは他の有機質資材より分解が遅く、窒素供給が少ない (Thongjoo et al., 2005)。また、ココナツコイアを培地に利用した場合、分解過程において土壌微生物により窒素の固定が起こるとの報告もある (Thongjoo et al., 2006)。ここでは、最適養分濃度区 (CH-10) の窒素含量は $3.70 \text{ g m}^{-2}\text{N}$ で、育苗培土 (SM) のおよそ 50% であった。生育後期には CH 区の培地内の窒素が欠乏状態を示しており、根の発達に影響を及ぼしたことも推察される。生育初期にはココナツコイア培地の孔隙率が高く、1 次根の発達が旺盛であった。しかし、生育後期には培地内の酸素と窒素成分の減少により分枝根の発達が抑制され (佐々木ら、1981)、総根長が SM 区に比べて劣ったものとする。

これらの結果は、播種後 19 日の CH 区におけるクロロフィル含量およびタンパク質含量の低さとも一致している (Fig. 3-1-3 A, B)。CH 区のクロロフィル含量、可溶性タンパク質含量は播種後 19 日目に最も多く、その後低下した。このことは CH 区で播種後 19 日目から分枝根の増加が停滞するとともに窒素の吸収が抑制されていたことを示しており、そのため葉身のクロロフィル含量およびタンパク質含量が低下したと考える (Fig. 3-1-3 A, B)。さらに、葉の生長量、光合成速度 (Table 3-1-2) も同様に、SM 区に比べて CH 区の方が早く低下し、乾物生産を低下させたものと推察する。

以上の結果から、CH 区に対する育苗後期の窒素追肥による生育促進の必要性が示唆された。

3-1-3. まとめ

ココナツコイア培地を利用した養液栽培による水稻苗の育苗において最適

養分濃度が明らかになり、養液栽培で育苗した苗は、育苗培土を用いて養成した苗とほぼ同等であることが判明した。しかし、ココナツコイア培地で育苗した苗の一次根は育苗培土で育苗した苗よりも発達していたが、分枝根では劣り、その結果、総根長、根数ともにココナツコイア苗より育苗培土苗の方が優れた生育を示した。また、育苗終了時期ではココナツコイア苗は育苗培土苗に比べて葉身のクロロフィルおよびタンパク質含量が少なく、純同化率、光合成速度が低く、収穫時の苗の生育がやや劣ることが示された。

以上のことから、ココナツコイア培地を利用した養液栽培による水稻苗の育苗は可能と判断する。しかし、苗質の向上は今後の検討課題として残された。

第2節 ココナツコイア培地で養液栽培した

水稻苗の移植後の生育および収量

ココナツコイア培地を利用して養液栽培した苗の移植後の生育および収量を育苗培土と比較し、水稻苗の養液栽培の可能性を検討する。

3-2-1. 材料および方法

実験は 2008 年に国際協力機構 (JICA) 筑波国際センター内網室および実験圃場で行った。4 月 22 日にインド型水稻品種 IR-28 の催芽種子をココナツコイアを充填したアルミ箱に播種し、第 3 章第 1 節で明らかとなった最適養分濃度の培養液 (水稻用水耕培養液の 10 倍液 ; ×10) で養液栽培した (コイア苗 ; CH 区)。また、同じ箱に育苗培土を詰めて同様に播種しコイア苗と同じ条件で育苗した (育苗培土苗 ; SM 区)。5 月 26 日に 4~5 葉苗を 1/5000 a ワグネルポットにポットあたり 1 株 3 本移植した。CH 区、SM 区それぞれ 3 ポットずつ 3 反復とした。移植後 35 日目に抜き取り茎数、草丈、葉面積、葉色値を調べた。根を切除して水洗した後、地上部を葉身と葉鞘および稈に分け、自動葉面積計 (林電工製、AAM-8) により 1 株の葉面積を測定した。試料は 80°C で 72 時間通風乾燥を行い、乾物重を測定した。

5 月 21 日に上記の苗を実験圃場に 30 cm × 15 cm の栽植密度で株当たり 3 本手植えた。1 区面積は 12 m² で各区 3 反復とした。移植後 37 日目および出穂期に各区から生育が中庸な 5 株を抜き取り、草丈と茎数を調べた後に葉面積と乾物重を測定した。収穫期に各区から無作為に 20 株刈り取り、その中から 1 株穂数が中庸な 5 株を選んで収量および収量構成要素を調査した。調査株は、1 週間風乾した後に脱穀し、水選して精粃と屑粃に分別した。精粃と屑粃を計数して登熟歩合を算出した。精粃の重量と水分含量を調べ、粃水

分を 14%に換算して収量と千粒重を算出した。

3-2-2. 結果および考察

CH 区および SM 区の移植後の生育を比較したところ、第 3 章第 1 節と同様な結果が得られた (Table 3-2-1)。圃場実験では、移植後 37 日目 (6 月 27 日) には CH 区より SM 区の方が有意に葉面積が大きかったが、草丈、莖数、葉色値および乾物重に有意差はみられなかった (Table 3-2-2)。出穂期 (8 月 5 日) には全ての調査項目で SM 区と CH 区間に有意差はみられなかった (Table 3-2-3)。ポット実験では、移植後 35 日目 (6 月 30 日) に SM 区より CH 区の分けつ数が多く、葉面積も有意に大きかった (Table 3-2-4)。CH 区は、移植時には、SM 区に比べて草丈が低く、乾物重も小さかったが、移植後には SM 区と同等かむしろ旺盛な生育を示した。これは、第 3 章第 1 節で明らかになったように、ココナツコイア培地の物理特性により CH 区の発達した 1 次根が移植後の活着を促進した結果と推察する。江原ら (2001) は、比較的窒素含量が少ない水耕苗の長い根が植え痛みのストレスを軽減した結果、移植後の生長が土耕苗と同等であったと報告している。ココナツコイアの気相率が高く移植時の断根を軽減したことに加えて、CH 苗の発達した 1 次根が移植後の土壌養分を旺盛に吸収したことにより初期生育が促進されたことが示唆された。

圃場実験の収量は、SM 区より CH 区の方がやや高かったが有意差は認められなかった (Table 3-2-5)。収量構成要素についてみると、穂数、1 穂穎花数は CM 区と SM 区との間にほとんど差がなかった。SM 区より CH 区の登熟歩合がやや高かったが有意差は認められなかった。また、千粒重にも SM 区と CH 区との間に有意差は認められなかった。CH 区が SM 区に比べて登熟歩合がやや高く、収量が高い傾向を示したが、その理由を明らかにすること

はできなかつた。

以上のことから、CH 区の移植後の生育は SM 区と同等かむしろ旺盛であり、収量および収量構成要素もほぼ同等であった。よって、CH 区は SM 区より苗の生育はやや劣るものの、実用的な栽培に利用可能であることが示された。しかし、今後は、さらに同様な実験を繰り返すとともに、温度、施肥、水分等が異なる多様な栽培条件で検討を重ねる必要がある。

3-2-3. まとめ

本節では、ココナツコイア培地で養液栽培した苗をポットおよび圃場に移植し、その後の生育を育苗培土で養成した苗と比較した。その結果、ポット実験では、ココナツコイア培地で育成した苗が育苗培土で育成した苗より旺盛な生育を示したが、圃場実験では移植後の生育に大きな差はなかつた。また、圃場実験における収量および収量構成要素についても、ココナツコイア培地で育成した苗と育苗培土で育成した苗との間に有意差は認められなかつた。

以上の結果から、ココナツコイア培地で育成した苗と育苗培土で育成した苗との間に移植後の生育と収量には大きな差はないことが明らかになり、ココナツコイア培地を利用した養液栽培による水稻苗の移植栽培は実用可能であると結論した。

Table 3-1-1. Growth characteristics of the seedlings raised with coir by hydroponics in different concentrations of nutrient solution (CH-5~20) and soil medium (SM) at 20 days after sowing.

Treatment	Plant age in leaf number	Plant length (cm)	Dry weight (mg plant ⁻¹)			SDW/L† (mg cm ⁻¹)	SPAD
			Shoot	Root	Total		
SM	4.1b‡	20.9a	30a	12a	42a	1.44a	35.9a
CH-5	4.0c	18.1b	27b	10a	37a	1.49a	27.8c
CH-10	4.2ab	19.9a	29ab	10a	39a	1.46a	31.0b
CH-15	4.3a	20.6a	28ab	4b	32b	1.36a	31.1b
CH-20	4.3ab	18.4b	25b	5b	30b	1.36a	32.7b

†SDW/L, Shoot dry weight divided by plant length.

‡Means in the same column with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$) by the Tukey test (HSD).

Table 3-1-2. Crop growth rate (CGR), net assimilation rate on leaf dry weight basis (NAR'), mean leaf dry weight (LDW) of rice seedlings raised with coir by hydroponics (CH) and soil media (SM) in the last 4 days of the raising period, and photosynthetic rate of the fourth leaf blade during this period.

Treatment	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$)	NAR' ($\text{g g}^{-1} \text{day}^{-1}$)	LDW (g m^{-2})	Photosynthetic rate ($\text{nmol gFW}^{-1} \text{s}^{-1}$)
SM	26.0 (100)	0.133 (100)	186.5 (100)	187.4 (100)
CH	18.8* (72)	0.103* (78)	143.3* (77)	162.5* (87)

SM: seedlings raised in soil medium, CH: seedlings raised in coconut coir medium by hydroponics. NAR' is calculated with leaf dry weight. The numbers in parentheses are the relative values to those of SM. * Significant at the 5% level by t-test.

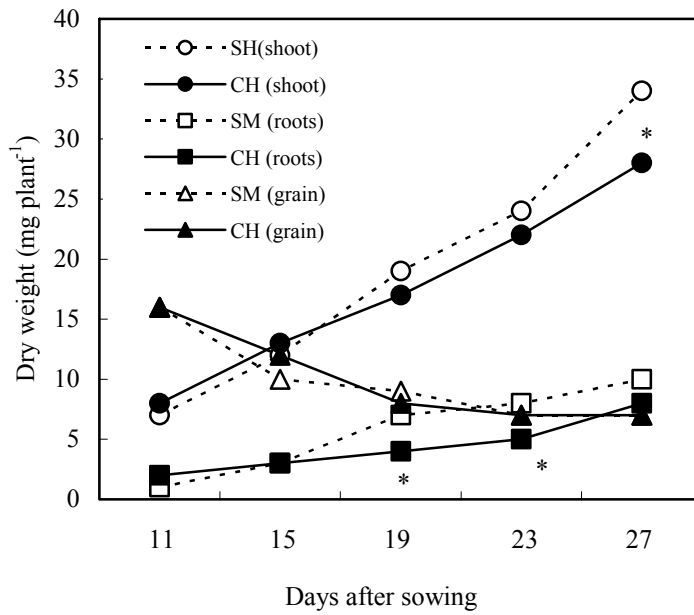


Fig. 3-1-1. Changes in dry weight of shoot, root and grain of seedlings raised with coir by hydroponics (CH) and soil medium (SM). Open triangle marks are overlapped with closed triangle marks in 23 and 27 days after sowing. * Significant at the 5% level by t-test between CH and SM.

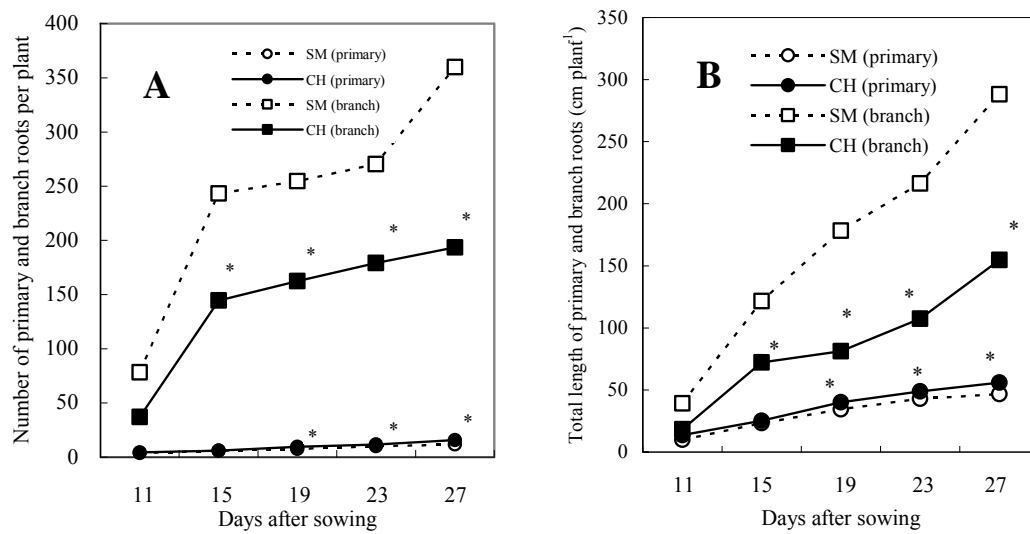


Fig. 3-1-2. Changes in number of primary and branch roots (A) and total length of primary and branch roots (B) of rice seedlings raised with coir by hydroponics (CH) and soil medium (SM).
 * Significant at the 5% level by t-test between CH and SM.

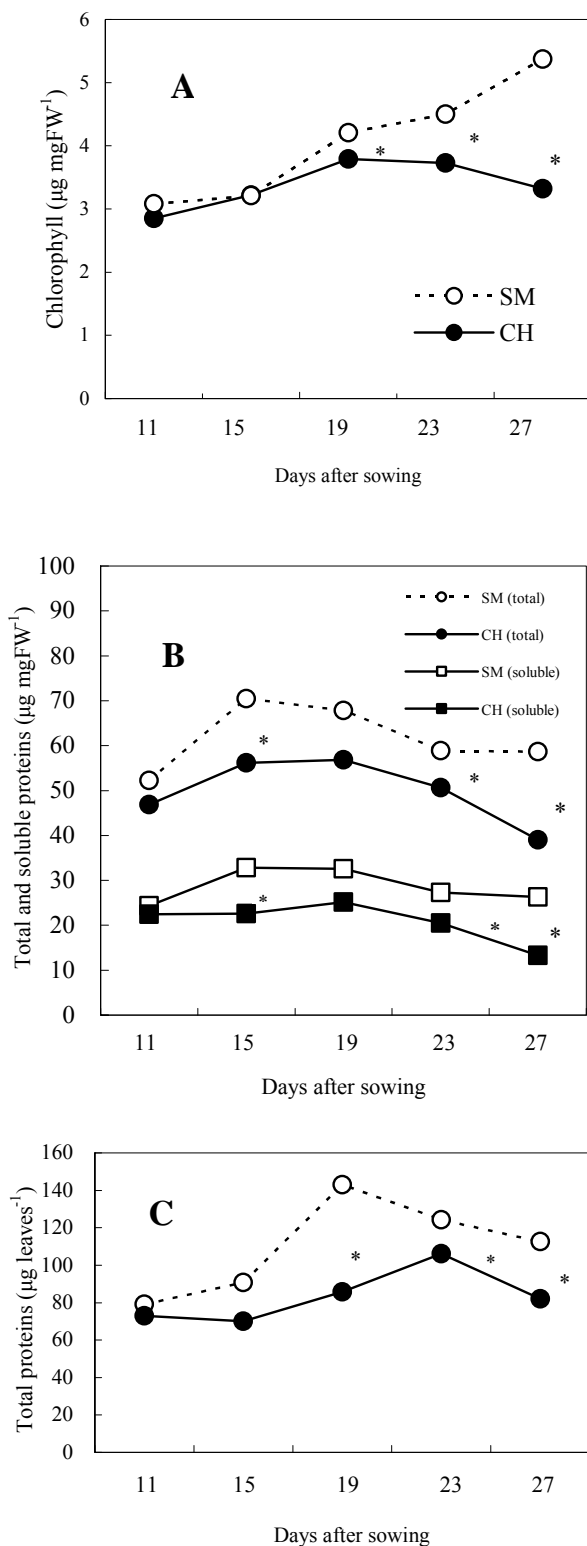


Fig. 3-1-3. Changes in chlorophyll contents (A), total (soluble plus insoluble) and soluble proteins (B), total proteins (C) in leaf blades of seedlings raised with coir by hydroponics (CH) and soil medium (SM).
* Significant at the 5% level by t-test between CH and SM.

Table 3-2-1. Growth characteristics of the seedlings raised with coir (CH) and soil medium (SM) 27 days after sowing.

Treatment	Plant age in leaf number	Plant length (cm)	Dry weight (mg plant ⁻¹)				SDW/L† (mg cm ⁻¹)	SPAD
			Shoot	Root	Grain	Total		
SM	4.6	25.3	42	10	7	59	2.1	34.2
CH	4.5 ^{ns}	23.9 ^{ns}	39*	8*	7 ^{ns}	54*	2.0 ^{ns}	29.1*

†SDW/L, Shoot dry weight divided by plant length.

ns: not significant, *: significant at 5% level by t-test between CH and SM.

Table 3-2-2. Growth and dry weights of rice plant at 37 days after transplanting with seedlings raised with coir (CH) and soil medium (SM) in the paddy field.

Treatment	Number of tillers (hill ⁻¹)	Plant length (cm)	Leaf area (cm ² hill ⁻¹)	SPAD	Dry weight (g hill ⁻¹)	
					Leaf blade	Stem: leaf sheath + culm
SM	28.6	51.6	1357.9	38.2	4.4	4.7
CH	30.7 ^{ns}	52.0 ^{ns}	1244.9*	40.5 ^{ns}	4.3 ^{ns}	4.6 ^{ns}

ns: not significant, *: significant at 5% level by t-test between CH and SM.

Table 3-2-3. Growth and dry weights of rice plant at heading stage, transplanted with seedlings raised with coir (CH) and soil medium (SM) in the paddy field.

Treatment	Number of tillers (hill ⁻¹)	Plant length (cm)	Leaf area (cm ² hill ⁻¹)	SPAD	Dry weight (g hill ⁻¹)		
					Leaf blade	Stem: leaf sheath + culm	Panicle
SM	18.1	111.9	2504.7	39.3	9.8	23.3	9.4
CH	18.3 ^{ns}	112.8 ^{ns}	2516.9 ^{ns}	39.7 ^{ns}	9.7 ^{ns}	24.7 ^{ns}	9.5 ^{ns}

ns: not significant, *: significant at 5% level by t-test between CH and SM.

Table 3-2-4. Growth and dry weights of rice plant at 35 days after transplanting with seedlings raised with coir (CH) and soil medium (SM) in the pot.

Treatment	Number of tillers (hill ⁻¹)	Plant length (cm)	Leaf area (cm ² hill ⁻¹)	SPAD	Dry weight (g hill ⁻¹)	
					Leaf blade	Stem: leaf sheath + culm
SM	15.2	48.2	597.3	38.7	4.3	4.5
CH	18.4*	48.4 ^{ns}	647.3*	39.1 ^{ns}	4.1 ^{ns}	4.4 ^{ns}

ns: not significant, *: significant at 5% level by t-test between CH and SM.

Table 3-2-5. Yield and yield components of rice grown with the seedlings raised in coir medium by hydroponics (CH) and in soil (SM).

	No. of panicles per m ⁻²	No. of spikelets per panicle	Ripening ratio (%)	1,000 grains weight (g)	Paddy grain yield (g m ⁻²)
SM	408.5	103.9	65.1	27.7	765.4
CH	410.7 ^{ns}	103.3 ^{ns}	72.9 ^{ns}	27.7 ^{ns}	856.7 ^{ns}

ns: not significant at the 5% level by t-test between CH and SM.

第4章

養液栽培に使用したココナツコイアの畑地への還元利用

一般に、熱帯・亜熱帯地域では養分欠乏、土壌伝染性病原生物、水不足などによる不良土壌が多い。このため、当該地域では作目および作付方法を多様化し不足しがちな土壌養分を栽培技術にて補っている。

このような地域で養液栽培に使用したココナツコイアを土壌に施用することによりココナツコイアに吸着した養分の溶出、ココナツコイア自体の分解による緩効的な肥効、土壌の緩衝作用の増強などが期待できる。よって、使用済ココナツコイア培地の畑地への還元利用は有機質資源の有効利用に加え、土地生産性を向上する技術として作物生産に有効である。しかし、ココナツコイア培地による養液栽培の報告(岩崎ら、1999a)は多いが、ココナツコイア培地の耕地への還元利用に関する研究はほとんどみられない。

本章では、熱帯・亜熱帯地域に多い小規模自給的農家の作付体系の高度化を目的とし、養液栽培に使用したココナツコイアの畑地への還元効果を作物の生育・収量と土壌の理化学性を指標にして検討する。

第1節 ポット栽培のキュウリに対する施用効果

省エネルギー非循環型養液栽培に使用したココナツコイアをポットに施用し、ココナツコイアに吸着された養分がキュウリの生育・収量に及ぼす影響を明らかにする。

4-1-1. 材料および方法

使用済みココナツコイアを含め4種類の有機物を供試した。4種の有機物は、未使用のココナツコイア(NCC)、標準濃度の培養液を使用したココナツコイア(USS)、その2分の1濃度の培養液を使用したコイア(UHS)および堆肥(COM)である。ココナツコイアは第2章と同じもの(タイ国産、スーパーベラボン;フジック社)、堆肥は馬糞と稲わら混合の完熟堆肥(みこまグリーン;JA茨城霞美浦)を使用した。使用済みコイアは第2章第2節のニガウリの非循環型養液栽培装置(Sakuma and Suzuki, 1997; 浦山ら、2005)で一度使用したもの(浦山ら、2007)を用いた。

ココナツコイアを培地に利用した省エネルギー非循環型養液栽培装置では培養液はタンクからパイプを通じてベッドに供給され、養液は排水も循環もされずに、毛管作用によって培地に供給される。第2章第2節のように、ニガウリは1株あたり47Lの培地容量にて2004年5月24日から10月6日にかけて栽培した。2種類の培養液は市販の大塚ハウス1号および2号(大塚化学)の標準培養液(USS)と2分の1濃度培養液(UHS)を用いた。標準濃度培養液による培地ベッドへの供給培養液のECおよび成分濃度は、EC: 2.6 dS m⁻¹、pH 6.4、養分濃度(mol m⁻³): NO₃-N: 18.2、PO₄-P: 1.9、K: 9.1、Ca: 2.6、Mg: 2.5であった(浦山ら、2007)。

実験は 2005 年に国際協力機構 (JICA) 筑波国際センターの温室内で実施した。5 月 2 日にキュウリ (*Cucumis sativus* L.、品種: 夏すずみ、タキイ種苗) を育苗培土を詰めたポットに播種した。5 月 23 日にワグネルポット(1/2000a) にポット当たり 1 個体定植した。化学肥料 (NPK) を施用した区 (+NPK) と施用しない区 (-NPK) を設け、有機質の異なる 4 区 NCC, UHS, USS, COM と組み合わせ、合計 8 処理区とし、それぞれ 3 反復とした。更にここでは何も施用しない土壌区 (NON) を設置し、4 種の有機質培地を各ポットそれぞれ 10 cm の深さに赤土と混合充填し、ポット当たり 100 g (20 t ha^{-1}) 施用した。

化学肥料施用区では茨城県下標準施用量に準じて、ポット当たり N; 600 mg、 P_2O_5 ; 1250 mg、 K_2O_5 ; 600 mg を複合化成肥料 (6-9-6 %) および過リン酸石灰 (17.5 %) で施用した。

土壌、未使用のコイア(NCC)、標準培養液で栽培後の使用済みココナツコイア (USS)、その 2 分の 1 培養液による使用済みココナツコイア (UHS) および堆肥をそれぞれ採取し、3 反復にて化学性の分析に供した。全窒素 (N)、炭素 (C) 含有量は全窒素炭素測定装置 (SUMIGRAPH NC-90A) により測定した。交換性塩基 (カリウム、カルシウム、マグネシウム) は、1.0 M 酢酸アンモニウム (pH 7) で交換された塩基を原子吸光法により分析 (AA-6650, Shimadzu Corp) し、リン酸はモリブデン酸青による比色法により分析した。また、アンモニア態窒素 (Tan, 1996)、硝酸態窒素 (Mulvaney, 1996) は、1.3 M KCl 溶液にて抽出後比色法により分析した。

灌水は 200 ml pot^{-1} (株あたり 4.0~5.0 mm) を生育期間中 2 日に 1 度の割合で行い、ポットからの排水は底部の栓を外さずに蒸発散のみとした。コイアおよび堆肥を施用した赤土は茨城県下火山灰土で、乾物 1 kg 当たり 1.4 g N、0.0014 g P_2O_5 、0.15 g K_2O であった。

キュウリは、各株の主茎 16 節目で心止めを行い、側枝は 7 節目から順に各

節の蔓を伸ばしそれぞれ2葉を残して摘心した。移植後18日、36日、58日目にSPAD値、果実・葉中の無機成分を測定するとともに、2005年6月24日から7月22日にかけて長さ18-21cmの果実を収穫し、合計果実重を収量とした。

4-1-2. 結果および考察

4-1-1- (1) 使用済みココナツコイアの理化学性

ココナツコイアは産地および加工方法によりその物理性、化学性は多様であるが、pH, P, K, Na, Cl 以外は実質的に有意な差が認められない (Evans and Stamps, 1996)。NCC, UHS と USS はポット施用時においてそれぞれ、仮比重が 0.08 g cm^{-3} 、水分含量が 1.0 % であった。COM の仮比重は 0.29 g cm^{-3} 、水分含量は 7.2 % であった。生育期間の温室内の平均気温は $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ であった。本節で使用した培地 : NCC, COM, UHS, USS の化学的特性を Table 4-1-1 に示す。NCC の C/N 比が 166.8 であったが標準培養液での使用後に当る USS のそれは炭素の減少が少ないものの 35.1 と C/N 比がかなり減少していた。これは、培地の分解による炭素率の低下によるものではなく、無機態窒素の培地への集積による。Abad et al. (2005) は高濃度のリグニン含量はココナツコイア培地の低い分解率を示すものであると報告している。USS は他のココナツコイアである NCC, UHS に比べ比較的高い無機養分含量を示しており、とくに N, P, K においてはそれぞれ UHS の倍量である。これらは、養液栽培で供給した培養液の濃度がそのまま影響していた。USS の全 N および K の含有量は COM とほぼ同等であるが、Mg および Ca においては COM に対してそれぞれ約 2 倍および 4 倍の量を示した。4 種類の有機物中のアンモニア態窒素、硝酸態窒素の含有量を Fig. 4-1-1 に示した。Fig. 4-1-1 では、同じコイア培地である NCC, UHS より USS の硝酸態窒素含有量が著しく高かった。ま

た、COM に対しても同様の傾向が見られ、アンモニア態窒素が約 4 倍、硝酸態窒素では約 40 倍の含有量を示した。USS の高濃度の無機成分は非循環型養液栽培装置によるココナツコイア培地への供給養分の集積（蓄積）によるものであると考えられる。

4-1-1-(2) キュウリの生育と収量

4 種類の有機物 (COM、NCC、UHS、USS) をポットに施用して栽培したキュウリの株あたり初期の正常果収量は、NPK 無施用区より NPK 肥料施用区の方が著しく高かった。肥料施用の有無を問わず USS 区の収量、および SPAD 値は高い値を示した。また、NPK 無施用区の中で USS 区のみ収量が得られ、SPAD 値も COM の約 2 倍であった(Table 4-1-2)。

移植後 58 日目のキュウリ各株 10~12 葉位を採取し、無機成分の分析に供し、その各成分含量を Table 4-1-3 に示した。NPK 無施用の NCC 区、および NON 区ではキュウリは十分生育できず、分析に供する試料が得られなかった。USS 区は肥料施用の有無を問わず Mg, Ca および N 含量が他の区より著しく高かった。これは、USS 培地に各成分 (Mg、Ca、NO₃-N) が高い濃度で吸着していたためである(Table 4-1-1, Fig. 4-1-1)。本実験では、USS 培地 (乾物として 1.0% の水分含量) 100 g をワグネルポット(1/2000 a) に施用しているので、Mg、Ca、NO₃-N の各成分量をそれぞれ ha 当り 88、126、80 kg 施用したことになる。このため、使用済みココナツコイアの施用は前作の養液栽培でココナツコイア培地に吸着された残留養分が多くキュウリの生育・収量に効果があると考えた。

4-1-3. まとめ

化学肥料を与えた区では定植 18 日目で 50 cm 前後の草丈を示した。無化学

肥料区では **USS** 区と **COM** 区のみで収穫の見込める生育を示した。**SPAD** 値は、**COM** 区と **NCC** 区が他と比較して低い値を示したが、それ以外はほぼ同様であった。収穫できたのは**+NPK** 施肥区と **USS** 区のみで、他の処理区での着果は認められなかった。以上の結果から、使用済み培地コイアはその有機質成分および吸着した養分により、土壌中に施用することで堆肥と同等あるいはそれ以上の効果をキュウリの生育に与えることが確認できた。

第2節 畑地の野菜栽培に対する施用効果

本節では、使用済みココナツコイアを畑地に施用して、土壌の理化学性、キュウリの生育・収量に与える影響を検討するとともに、同一圃場で3年間野菜栽培をおこない、各作物の生育・収量を調査し使用済みココナツコイアの施用効果を明らかにする。

4-2-1. 材料および方法

化学肥料のみの施用区 (NPK)、堆肥施用区 (NPK+COM)、標準培養液ココナツコイア培地区 (NPK+USS)、無施用区 (NON) の4区を国際協力機構 (JICA) 筑波国際センターの付置圃場に設けた。堆肥 (COM) および使用済みココナツコイア (USS) はそれぞれ 20 t ha^{-1} として土壌表層から 30 cm の作土中に施用した。NPK はキュウリ苗移植時にそれぞれ N - P_2O_5 - K_2O を 120 - 250 - 120 kg ha^{-1} 施用し、また試験区は完全無作為法にて2反復とした。キュウリ (*Cucumis sativus* L.) は品種：レイセイ (タキイ種苗) を 2005 年 5 月 30 日に播種、同年 7 月 7 日に 1 処理区 ($1.2 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$) 当り 6 株を株間 45 cm、畝間 60cm にて移植した。

移植後それぞれの処理区にわらマルチを敷き、灌水は行わなかった (生育期間中の降雨量は 125.2 mm)。栽培方法は第1節と同様に主茎 1 本仕立てとして 16 節目で心止めを行い、側枝は 7 節目から順に各節の蔓を伸ばしそれぞれ 2 葉を残して摘心した。収穫は 2005 年 7 月 27 日から同年 8 月 16 日にかけて実施し、また移植後 40 日目の土壌を採取し、理化学性の分析に供した。

土壌は移植前および移植後 40 日目に土壌表面から 10 cm の範囲の作土層から採取し、全窒素 (N)、炭素 (C) 含有量は全窒素炭素測定装置 (SUMIGRAPH NC-90A) により測定した。交換性塩基 (カリウム、カルシウム、マグネシウム)

ム) は、1.0 M 酢酸アンモニウム (pH 7) で交換された塩基を原子吸光法により分析 (AA-6650, Shimadzu Corp) し、リン酸はモリブデン酸青による比色法により分析した。また、アンモニア態窒素 (Tan, 1996)、硝酸態窒素 (Mulvaney, 1996) は、1.3 M KCl 溶液にて抽出後比色法により分析した。塩基置換容量 (CEC) は 1.0 M 塩化ナトリウム溶液にて抽出したアンモニア濃度を分析することにより定量した。EC は土壌と水を 1:5 の比率 (w/w) で懸濁し EC 測定装置 (DS-8M, Horiba, Ltd., Japan) にて分析した。

また、物理性として孔隙率および三相分布を測定した。採土管 (直径: 4.74 cm、高さ: 4.83 cm) で土壌を採取し、105°C で乾燥させた後分析に供した。

葉中無機成分の測定では、移植後 58 日目の各株 10~12 葉位までを採取し、各処理区試料を分析に供した。全窒素 (N)、炭素 (C) 含有量は土壌同様、全窒素炭素測定装置 (SUMIGRAPH NC-90A) により測定した。また、供試葉を 80°C で 48 時間乾燥させて乾式灰化した後、リン酸はモリブデン酸青による比色法、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウムは原子吸光法により分析した。

キュウリ栽培以後は、同一圃場にて 3 年間後作を行い、ホウレン草 (*Spinacia oleracea* L.) を 2005 年 9 月に播種、キャベツ (*Brassica oleracea capitata* L.) を 2006 年 5 月に定植、ダイコン (*Raphanus sativus* L.) を 2006 年 9 月に播種、パクチョイ (*Brassica rapa var. chinensis* (L) Kitam.) を 2007 年 7 月に播種した。試験区はそれぞれ完全無作為法の 3 反復とした。後作では堆肥 (COM) および使用済みココナツコイア (USS) は施用せず、NPK のみを各作物の播種および移植時 (キャベツ) に施用した。施肥量は茨城県の野菜耕種基準に準拠し、ホウレン草を N - P₂O₅ - K₂O ; 200 - 100 - 150 kg ha⁻¹、キャベツを N - P₂O₅ - K₂O ; 200 - 100 - 200 kg ha⁻¹、ダイコンを N - P₂O₅ - K₂O ; 150 - 100 - 150 kg ha⁻¹、パクチョイを N - P₂O₅ - K₂O ; 100 - 100 - 100 kg ha⁻¹ とした。

灌水は行わず、収量調査は収穫期に各区 6~10 個体 (ホウレン草 ; 10 株、キャベツ ; 6 球、ダイコン ; 6 本、パクチョイ ; 10 株) を収穫して分析に供した。

4-2-2. 結果および考察

4-2-2-1 (1) キュウリの生育と収量

圃場におけるキュウリの収量を Fig. 4-2-1 に示した。キュウリの初期における収穫期を 3 つの期間に分け、それぞれの平均収量を表した。各区の収量は生育とともに増加していき、収穫第 1 期 (移植後 20~26 日目) において NPK+COM 区の収量が NPK 区および NPK+USS 区のおよそ 2 倍の数値を示した。収穫の初期段階で堆肥の養分がキュウリへ供給され移植後の早期活着を促し、また土壌の物理性が改善されて早期増収を発現したものと考えられる。第 3 期に当る収穫後期 (移植後 34~40 日目) では NPK+USS 区が NPK+COM 区の収量と同等の数値を示した。これは NPK+USS 区では各種養分が早期には供給されずにその後 30 日目ごろから緩効的に供給されたものと考えられる。

4-2-2-1 (2) 土壌の理化学性

移植前および移植後 40 日目の土壌化学性の分析結果を Table 4-2-1 に示した。NPK+COM 区、NPK+USS 区の K の濃度は移植後 40 日目に著しく増加した。K は作物にとって要求を超えるぜいたく吸収をおこす性質があるがここでは収穫以後も多くの残存量が土壌中に確認され、ぜいたく吸収および土中残量の関係は明らかではなかった。

移植前および移植後 40 日目の土壌中のアンモニア態窒素および硝酸態窒素含量を Fig. 4-2-2 に示した。アンモニア態窒素は移植前および移植後 40 日目の各区の土壌間に大きな差は見られなかった。しかし、硝酸態窒素では移

植後 40 日目に多くのばらつきが見られ、NPK+COM 区、NPK+USS 区および NPK 区は移植前に比べてその含量が著しく増加していた。特に NPK+USS 区では硝酸態窒素含量が NPK+COM 区に比べ 3.5 倍増加していた。このように、NPK+USS 区の土壤中硝酸態窒素濃度はおよそ $300 \text{ mg kg}^{-1} \text{ DW}$ に達しており、この量は土壤の仮比重を 0.57 g cm^{-3} (Table 4-2-2) とした場合の換算値として 170 kg ha^{-1} の窒素含有量に相当することが明らかになった。栽培時 (USS 施用時) の NPK+USS 区における土壤の全無機態窒素の量は化学肥料にて施用した 120 kg の量を含めて 200 kg であり、栽培終了時における土壤残留無機態窒素の分を差し引いた 80 kg ha^{-1} の窒素量が USS からの供給量であった。

このように高濃度の無機態窒素量が栽培以後も残存する理由として土壤微生物による窒素の不活性化 (固定) が高い C/N 比 (> 30) の状態にて発生することが報告されている (前田・志賀 1978)。それゆえに、本節での NPK+USS 区における土壤の無機態窒素の高濃度の残留は、当初高い C/N 比の USS による窒素の吸着がおこり、これが徐々に土壤微生物により無機化され、その後コイア自身が緩やかに分解したためと考えられる。不活性化 (固定) された窒素は、施用された稲わらを土壤微生物が 29 ~ 42 日間に分解したのち、土壤温度・湿度等の環境条件にも影響されるが、緩やかに土壤中に供給されていく (柳井、1976)。また、柳井 (1976) はポット内の土に $10 \sim 40 \text{ t ha}^{-1}$ の稲わらを施用し硝酸態窒素の動向を調べたところ、不活性 (固定) 化は $73 \text{ mg kg}^{-1} \text{ DW}$ までの硝酸態窒素含量の減少に影響したと報告している。

本実験第 1 節にて施用された未使用ココナツコイア (NCC) の C/N 比は 166.8 (Table 4-1-1) であった。また、第 1 節のポット実験および本節にて畑地に施用された標準培養液の使用済みコイア培地 (USS) の硝酸態窒素濃度は、施用前 4000 mg kg^{-1} まで集積されていた (Fig. 4-1-1)。ここでは、各施用区に

におけるキュウリ収量の変化 (Fig. 4-2-1) は当初不活性化されていた窒素が培地施用後 30 日ごろから徐々に培地から分解供給された結果によるものと示唆される。そして、収穫終了時に 170 kg ha^{-1} の硝酸態窒素が依然利用されずに土壤に残留しているものと思われた。

養液栽培後の使用済みコイア培地を土壤に施用した後、それが緩やかに無機態窒素を供給することは肥料施用量の省力化を示唆するものである。さらさらに、使用済みコイア培地の土壤への施用はより長期的な作物への窒素供給を可能にして収量の増加に寄与するものであると考えられる。

使用済みコイアを施用し 40 日間キュウリ栽培した跡地土壤の物理性を Table 4-2-2 に示す。ここでは仮比重および固相率に関して NPK+COM 区と NPK+USS 区間には有意差は無く、ともに NPK 区、NON 区に対して有意に低い数値を示した。このことから NPK+COM 区と NPK+USS 区では土壤孔隙が増大したことが明らかになった。CEC はどの区も有意差が無いものの使用済みコイア施用区は NPK 区および NPK+COM 区より低い値を示した。このことは本実験時の使用済みコイアの CEC が低く、分解および腐植化において不完全であると考えられる。

今回の実験では使用済みコイアに吸着 (集積) されていた窒素の土壤への緩効的供給がコイア施用後およそ 30 日から始まることが示唆された (Fig. 4-2-1)。このことから、今後は移植期をコイアに吸着された無機態窒素が供給し始める時期に合わせる等、効率的な施肥法の検討が必要と考える。

4-2-2-(3) 後作に対する効果

同一圃場における 3 年間の後作作物の生育・収量に及ぼす影響を調査した。その結果、キュウリの後作となるハウレン草、キャベツ、ダイコンおよびパクチョイの収量において NPK+USS 区が概して他の処理区より高い数値を

示した (Fig. 4-2-3)。このことは、吸着養分の緩効的な供給作用が後作作物の生育・収量に有効に利用され、さらにココナツコイアの腐植化が徐々に起こり土壌物理性の改善および緩衝能力の向上に効果的に働いているものと推察する。今後はさらに長期にわたる土壌への影響を肥料の効率的利用法と併せて検討する必要がある。

4-2-3. まとめ

圃場レベルの実験では化学肥料とともに 40 日間キュウリを栽培し養液栽培後のココナツコイアの効果を調べた。キュウリの収量は 3 週目で堆肥区と使用済みココナツコイア施用区の収量の伸びが大であった。キュウリ栽培後の土壌中に残存した養分濃度の分析をしたところ硝酸態窒素を除く無機養分に処理間での大きな差は認められなかった。しかしながら、硝酸態窒素に関しては使用済みココナツコイア施用区で堆肥区の約 4 倍の量が残存していた。施用した使用済みココナツコイアの硝酸態窒素含量が高かったにもかかわらずキュウリの生育・収量は堆肥と同等以上であり、栽培後の土壌にも高濃度の硝酸態窒素が残存していた。土壌の物理性では使用済みココナツコイア施用区および堆肥施用区で孔隙率が上がった。その後 3 年間同一圃場で連続栽培を行い、使用済みコイアが養液栽培時の養分を蓄積しており長い期間にわたって土壌に供給することが確かめられた。これらの結果から使用済みコイアの土壌への施用は実用的で環境にも負の影響が少ない方法であることが示された。

Table 4-1-1. Carbon, nitrogen and available nutrient contents (%DW) in the compost and coir media applied.

Material	Total		C/N	Availa- ble P	Exchangeable cations			
	C	N			K	Mg	Ca	Na
COM	27.1±0.1	1.40±0.01	19.4±0.1	0.4±0.0	1.8±0.1	0.22±0.01	0.14±0.00	0.31±0.01
NCC	50.0±0.3	0.30±0.01	166.8±5.0	0.0±0.0	0.4±0.0	0.09±0.00	0.14±0.00	0.10±0.00
UHS	48.9±0.4	0.71±0.01	69.0±0.7	0.1±0.0	0.7±0.0	0.29±0.02	0.13±0.00	0.23±0.01
USS	47.0±0.1	1.34±0.00	35.1±0.1	0.2±0.0	1.2±0.0	0.43±0.01	0.62±0.01	0.16±0.00
LSD (5%)	0.7	0.02	7.2	0.1	0.1	0.04	0.04	0.01

Value = mean ± S.E. (n=3)

COM: Compost, NCC: New coconut coir, UHS: Used coir with half the concentration of the standard solution, USS: Used coir with the standard solution.

Table 4-1-2. Effects of compost and used coir application on plant height, SPAD value and early yield of cucumber.

Treatment		Plant height*	SPAD value**	Fruit yield***
Fertilizer	Material	(cm)		(g plant ⁻¹)
+NPK	COM	49.7±7.0	41.9±0.2	378.2±31.7
	NCC	47.0±4.5	41.4±1.1	185.7±56.6
	UHS	48.0±4.7	37.9±1.7	320.3± 9.7
	USS	54.0±8.6	42.1±0.5	453.2±19.6
-NPK	COM	28.2±3.0	23.4±1.0	-
	NCC	14.3±0.7	31.3±1.7	-
	UHS	19.0±2.1	37.8±2.5	-
	USS	26.0±1.8	43.5±1.3	85.0±12.1
	NON	11.3±0.3	-	-

Value = mean ± S.E. (n=3)

COM: Compost, NCC: New coconut coir, UHS: Used coir with half the concentration of the standard solution, USS: Used coir with the standard solution, NON: with no chemical fertilizer and organic matter.

* Plant height measured at 18 days after transplanting.

** SPAD value measured on the 5th to 7th leaves at 36 days after transplanting.

*** Fruit yield was recorded with the early harvest for 28 days.

Table 4-1-3. Effects of compost and used coir application on N, P, K, Mg, and Ca contents in the 10th to 12th leaves of cucumbers at 58 days after transplanting.

Treatment*		N	P	K	Mg	Ca
Fertilizer	Material	% DW	mg g ⁻¹ DW			
+NPK	COM	1.6±0.3	1.3±0.1	28.9±3.3	9.7±0.4	88.5±11.2
	NCC	1.5±0.3	1.3±0.2	24.2±4.8	9.3±1.4	92.6±13.6
	UHS	1.4±0.1	1.3±0.1	18.3±1.1	8.5±1.5	77.0±17.8
	USS	1.9±0.1	1.4±0.1	23.6±2.1	12.8±0.6	121.8± 5.7
-NPK	COM	1.1±0.1	2.1±0.0	21.3±2.3	11.5±0.7	74.2± 7.6
	UHS	1.9±0.2	1.0±0.1	17.6±1.3	13.8±0.7	96.4±11.8
	USS	1.9±0.1	1.0±0.1	22.1±2.1	14.6±1.3	117.1± 6.9

Value = mean ± S.E. (n=3)

COM: Compost, NCC: New coconut coir, UHS: Used coir with half the concentration of the standard solution, USS: Used coir with the standard solution.

The treatment of -NPK of NCC and NON were not shown because cucumber plants could not grow sufficiently to collect sample leaves.

Table 4-2-1. Effect of compost and used coir application on residual carbon and nutrients in the soil after 40 days of cucumber cultivation.

Treatment	C	Total N	Available P	Exchangeable cations		
	(%)		(mg kg ⁻¹ DW)	(g kg ⁻¹ DW)		
				K	Mg	Ca
NPK	4.1 a	0.36 ab	16.8 a	0.37 c	0.20 b	1.4 a
<i>After 40-day</i> NPK + COM	5.0 a	0.40 a	18.4 a	1.17 a	0.31 ab	1.5 a
<i>cultivation</i> NPK + USS	4.6 a	0.37 ab	23.4 a	0.85 b	0.33 a	1.6 a
NON	4.1 a	0.33 b	17.7 a	0.41 c	0.21ab	1.7 a
<i>Before cultivation</i>	4.4 a	0.36 ab	11.6 a	0.34 c	0.22 ab	1.4 a

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level by Tukey's test.

COM: Compost, USS: Used coir with the standard solution. NON: with no chemical fertilizer and organic matter.

Table 4-2-2. Physical properties of the soil after 40 days of cucumber cultivation.

Treatment	Bulk density (g cm ⁻³)	Solid phase (%)	EC (dS m ⁻¹)	CEC (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)
NPK	0.69 b	26.1 b	0.341 a	17.8 a
NPK + COM	0.62 a	23.3 a	0.311 a	20.5 a
NPK + USS	0.57 a	21.6 a	0.363 a	17.5 a
NON	0.68 b	25.8 b	0.177 a	16.1 a

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level by Tukey's test.

COM: Compost, USS: Used coir with the standard solution. NON: with no chemical fertilizer and organic matter.

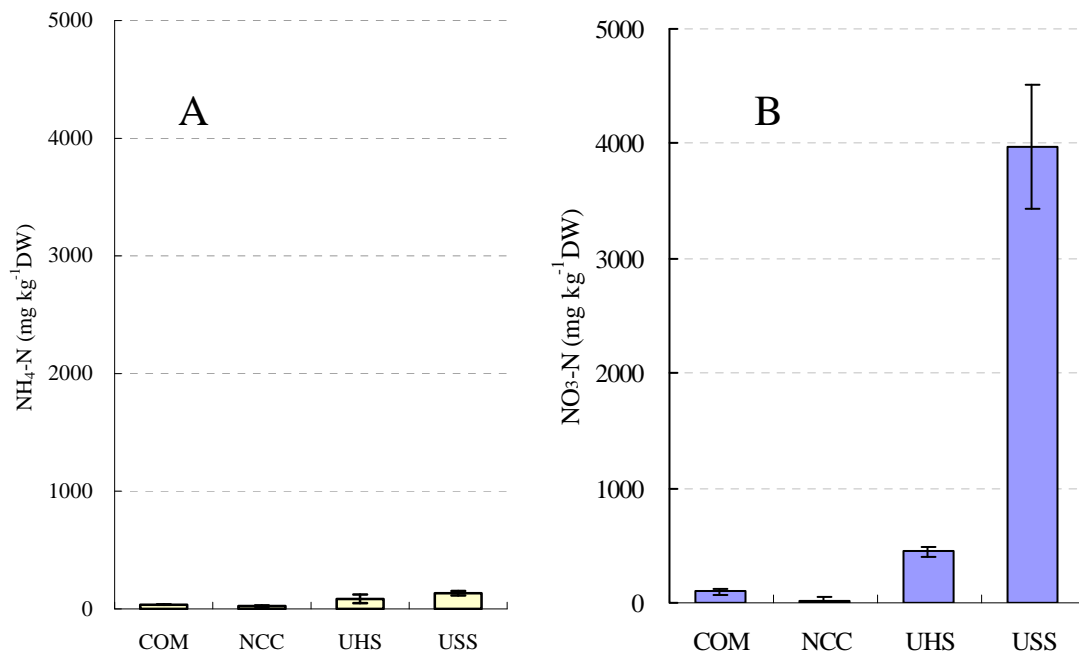


Fig. 4-1-1. $\text{NH}_4\text{-N}$ (A) and $\text{NO}_3\text{-N}$ (B) content in the compost and coir media applied to the soil. COM: Compost, NCC: New coconut coir, UHS: Used coir with half the concentration of the standard solution, USS: Used coir with the standard solution. Vertical bars indicate the standard errors of three replications.

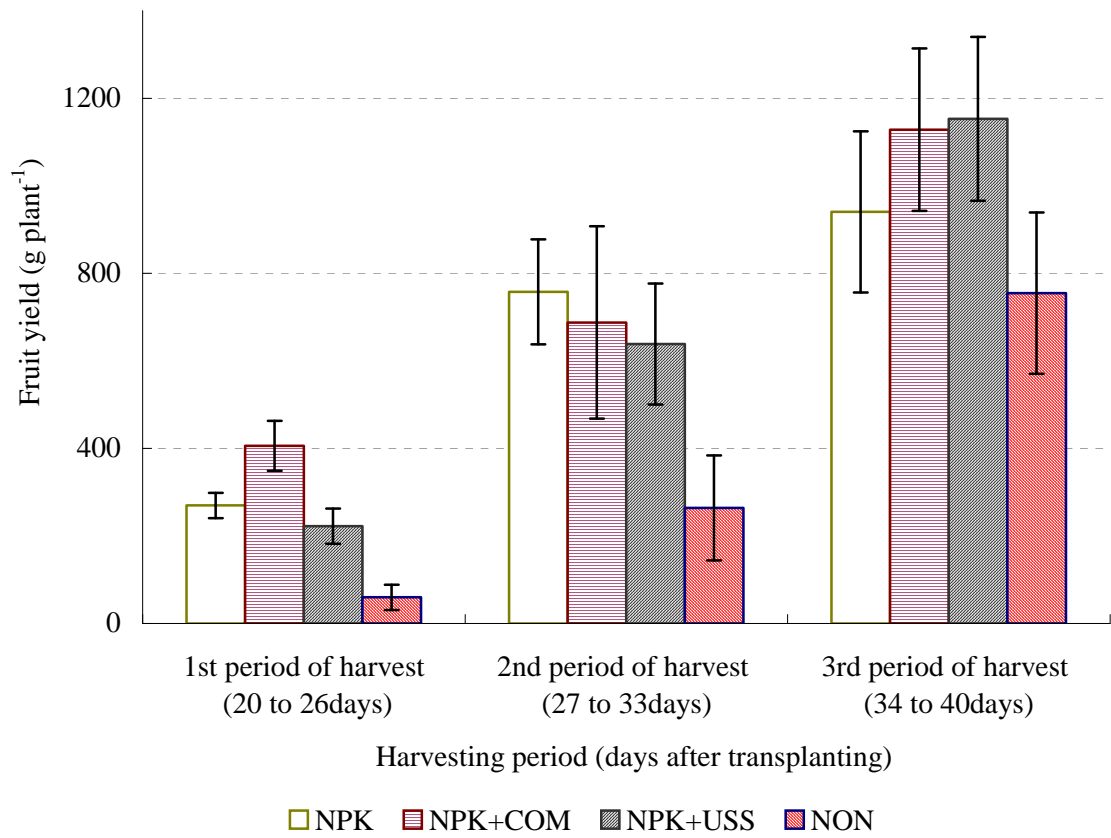


Fig. 4-2-1. Effect of compost and used coir application on cucumber yield in different periods of harvest. COM: Compost, USS: Used coir with the standard solution. NON: with no chemical fertilizer and organic matter. Vertical bars indicate the standard errors of six replications.

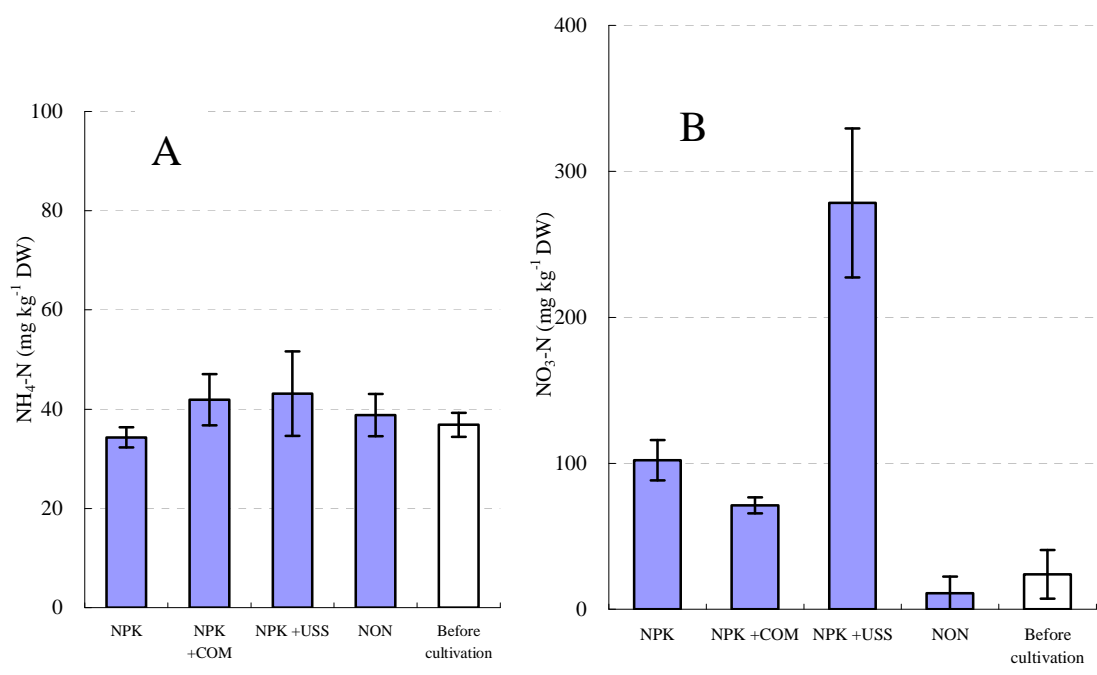


Fig. 4-2-2. NH₄-N (A) and NO₃-N (B) content in the soil after 40 days of cucumber cultivation. Open and closed bars indicate the contents of inorganic nitrogen in the soil before and after the cucumber cultivation, respectively. COM: Compost, USS: Used coir with the standard solution. NON: with no chemical fertilizer and organic matter. Vertical bars indicate the standard errors of three replications.

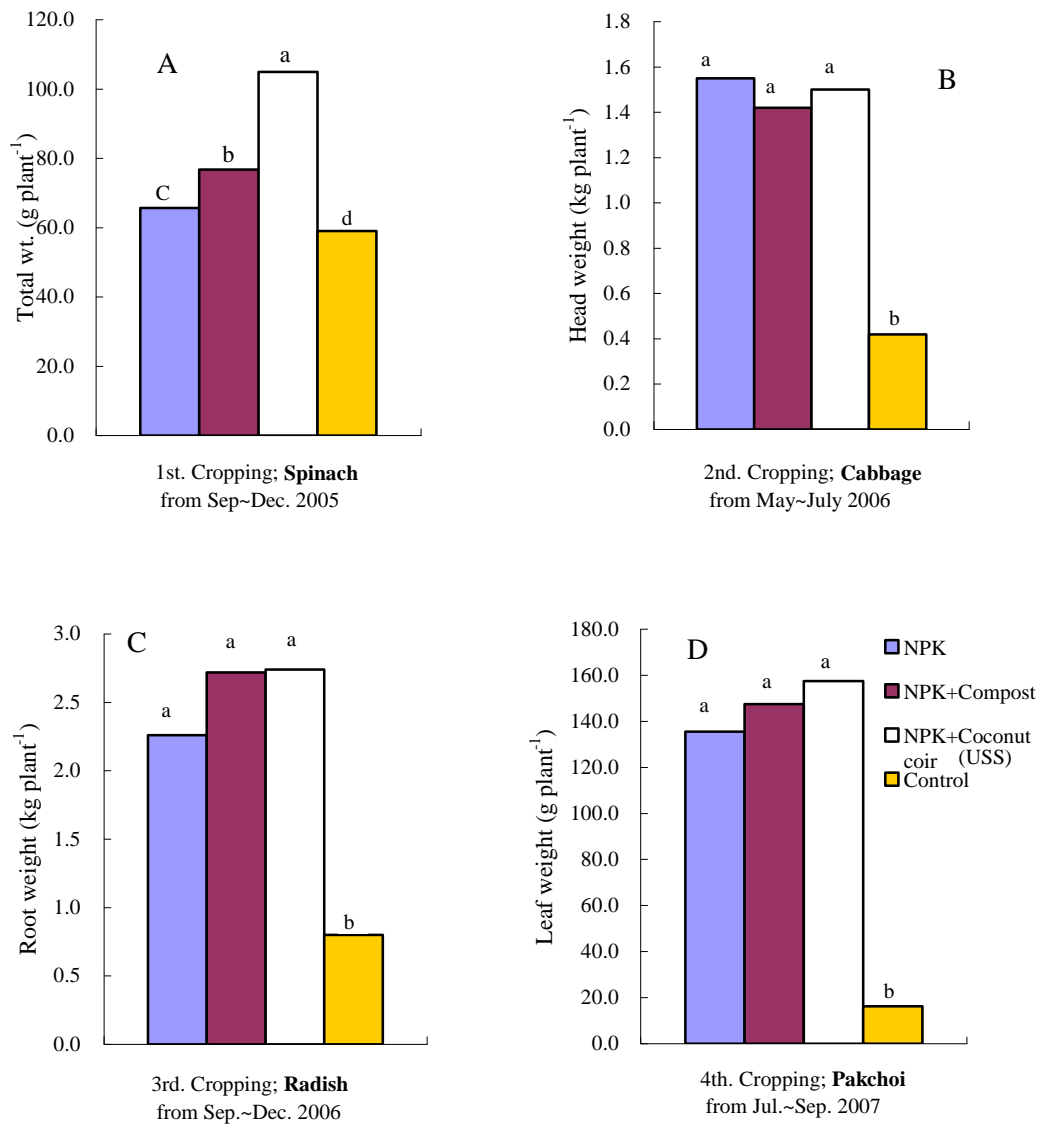


Fig. 4-2-3. Effect of continuous cropping for the yield of each crop: Spinach (A), Cabbage (B), Radish (C), Pakchoi (D) for 3 years from Sep.2, 2005 to Sep. 4, 2007. Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level by Tukey's test.

第5章

ココナツコイア培地による養液栽培を導入した 作付体系の経営評価

湿潤熱帯では、有機物の分解が速く土壌の肥沃度も低い。しかし、十分な量の肥料を施用できないので、地域に存在する資源を有効に利用して肥料投入量の低下を補い、持続的な生産体制を維持している。

急激な人口増加と産業発展が続く熱帯・亜熱帯の開発途上国では、経営面積1ha未満の零細農家が多数を占め、作付けも単作が多く、自給的栽培が行われている。これに対して、中規模以上の農家(2ha以上)では換金作物も作付けし、輪作等の作付体系も確立されている。

水稲作は熱帯アジア圏を代表する農業の形態であり畑作は水稲作の裏作、もしくは水稲作後の乾期や雨期直前の時期に作付けされる。よってこれらの地域では水の供給状況により畑作の頻度、作付体系が多様化してくる。

タイは典型的な熱帯アジア地域の作付体系であり、一般に雨季に水稲作(5月~11月)、乾季に畑作(12月~6月)を行い毎年同じ作付けを繰り返している。また、チャイニーズシステムと呼ばれ、水田の中に大型の畦を作り常時野菜(ナス科、ウリ科、アブラナ科)を作付けしている例もみられる(山田、2004)。

東北タイは塩類集積土壌等の不良土壌が多く、タイ国内でも栽培条件が厳しい地域の一つとされ、塩害の他にも穀物の連作による地力低下や病害虫の多発、少ない作目による価格変動のリスクが問題になっている。そのため、野菜や果樹を導入した農業経営の複合化が推進さ

れ、ため池の整備等タイ王室が主導するロイヤルプロジェクトも実施されている (佐藤、2008)。

本章では、これらの地域にあって多数を占める小規模経営農家(1ha未満の経営面積)を対象に、ココナツコイア培地を用いた省エネルギー型養液栽培装置を利用して野菜作を導入した作付体系の経営評価を行い、作付体系再編の可能性を検討する。

5-1. 材料および方法

タイ王国農業局コンケン畑作物研究センターにおける省エネルギー型養液栽培装置による果菜類、葉菜類の栽培事例を試算根拠とした(Thippayarugs et al., 2002)。この場合、吸収シート以外は現地で調達したタイ製の価格を利用した。また、キュウリを 10 a (0.1 ha) 栽培した場合の生産費、利益を本研究第2章の収量結果および「輸入野菜情報収集事業に係る調査報告書」、主要野菜の生産費内訳 (農畜産業振興機構、2007) から試算した。

露地栽培も同様に「輸入野菜情報収集事業に係る調査報告書」、主要野菜の生産費内訳 (農畜産業振興機構、2007) からキュウリの生産費内訳を調べ、野菜生産が期待される東北タイ地域の作付体系の現状を「月報 野菜情報—海外情報—」 (佐藤、2008) および「野菜情報」22号 (農畜産業振興機構、2006) から調べた。また、野菜生産費、平均農家経営規模、水稻収量および米生産者価格に関しては、「野菜情報」22号 (農畜産業振興機構、2006)、「月報 野菜情報—海外情報—」 (佐藤、2008)、「輸入野菜情報収集事業に係る調査報告書」 (農畜産業振興機構、2007)、国際農林水産業研究成果情報 (国際農林水産業研究センター・生産環境部、2001) および国際連合食料農業機構の統計デ

ータベース (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008) で調べ、試算の根拠とした。

これらの結果から、露地栽培とココナツコイアを培地に利用した省エネルギー型養液栽培装置によるキュウリの栽培の収益性を比較し、作付体系再編の可能性を検討した。

5-2. 結果および考察

「輸入野菜情報収集事業に係る調査報告書」(農畜産業振興機構、2007)によれば、タイ国の露地栽培キュウリの平均収量は1作期、10 a 当り 2029 kg となっている。これに対して、本研究第2章の省エネルギー型養液栽培装置による収量は10 a 当り 8476 kg で、露地栽培平均収量の約 4.2 倍に当る(ここでは、培地ベッドのサイズおよび作付け本数をもとに1作期の収穫期間を2.5ヶ月として算出)。露地キュウリの生産者価格は、同統計資料によれば農家庭先価格として 3.9 バーツ kg^{-1} (11.7 円 kg^{-1} ; 1 バーツ = 約 3 円)、となっている。

キュウリの生産費内訳の支出分は労賃として、耕耘費; 234 バーツ (702 円), 植付費; 129 バーツ (387 円), 栽培管理費; 368 バーツ (1,104 円), 収穫費; 259 バーツ (777 円)、種苗費; 393 バーツ (1,179 円)、肥料・農薬費; 969 バーツ (2,907 円)、燃料費・消耗品資材費; 419 バーツ (1,257 円) となっている。また、省エネルギー型養液栽培装置では市販の培養液を使用するために支出分の肥料費を培養液(園芸用)費用とし、レタス栽培の支出額 (Thippayarugs et al., 2002) を用いてキュウリに換算した(レタスに比べて約 1.5 の消費水量および 4 倍の栽培期間)。さらに養液栽培のため栽培管理、病虫害防除が露地栽培にくらべて省力化できるため、ここでは燃料費、農薬、労賃を半額にして試算した。

培地の価格は、Thippayarugs et al. (2001) によればココナツコイアは安価で容易に入手できると報告している。聞き取りでは、スリランカにおける価格は 1 kg 当り 1 ルピー (1 円)、同様にフィリピンでは 1 ペソ (1~2 円) になる。したがって、これをもとに 1 ベッド (23m × 0.6m) の培地価格 (127.8 kg) から 10 a 当りの培地費を試算すると培地の総平均支出額は 928 バーツ (2,784 円) になり 1~2 年は連用可能である。

省エネルギー型養液栽培装置の初期投資額は 10 a 当り 22 ベッド (1 ベッド : 23 m × 0.6 m) を経営規模とした場合、Thippayarugs et al. (2002) の報告によれば、総資材費が 281,540 バーツ (844,620 円) になる。しかしながら、この装置の吸収シートは日本から調達しているため、その分の支出負担がかなり大きい (101,333 バーツ; 304,000 円で 36% の価格占有率)。よって、ここでは養液栽培装置の吸収シートにかかる支出負担分を現地調達のできる資材を使用することとして試算した。この場合、吸収シートの費用を日本における装置全体にかかる費用の支出額占有率 (5%) に当てはめて算定すると、15,484 バーツ (46,452 円) になる。よって、省エネルギー型養液栽培装置にかかる初期投資額を合計で 189,619 バーツ (568,857 円) とした (Table 5-1-1)。また、省エネルギー型養液栽培装置の耐用年数を 5 年と仮定して、定額法により減価償却費を試算すると年間 37,924 バーツ (113,772 円) の支出になる。以上から、キュウリを 2 期作行なう場合、支出額合計は 5,661 バーツ (16,983 円) になり、これに減価償却費が加わるため総支出額は 43,585 バーツ (130,755) となる (Table 5-1-2)。

次に収益に関して、露地栽培のキュウリは作付けが年に 1 回で収量が 10 a 当り 2029 kg であるため (農畜産業振興機構、2007)、ここでの収入は 7,913 バーツ (23,739 円) になる。そこで、支出の総計である

2,770 パーツ (8,310 円) を引くと収益は 5,143 パーツ (15,429 円) になる。これに対して、省エネルギー型養液栽培装置による収量は、本研究第 2 章から 10 a 当り 1 作で 8476 kg となっている。本装置では 2 期作が可能であるとして試算すると、この場合の収入は 66,113 パーツ (198,339 円) になり、総支出 43,585 パーツ (130,755 円) を引くと収益は 22,528 パーツ (67,584 円) で露地栽培の約 4 倍になる。また、野菜等の園芸作物は季節 (雨季、乾季) による価格変動が大きいいため、キュウリ 2 期作における農閑期価格が先の 3.9 パーツ kg^{-1} (117 円 kg^{-1}) から約 2 倍にあがることも十分考えられる。この場合、総収入は 99,169 (297,507 円) パーツになり、同様に総支出額を差し引いた収益は、露地栽培の約 10 倍に当る 55,584 パーツ (166,752 円) に見積もることができる (Table 5-1-2)。さらに、生産者価格から大手スーパーマーケット等の取引価格の 14 パーツ; 42 円 (国際協力機構、2006) に当てはめて試算するとその差は大きくなる。加えて、省エネルギー養液栽培装置の耐用年数が 5 年以上であればその差はさらに大きくなると見積もることができる。また、本装置を使用して他の高収益作物 (メロン、食用トマトなど) を作付ければ収益効果は非常に高いものになると予測される。

このように、省エネルギー養液栽培を利用し、資材の全てを現地調達した場合、栽培時期、土壌状態にかかわらず、高収益な果菜類の周年作 (2 期作) が可能になり、その収益効果は高くなることが明らかになった。しかしながら、野菜類は価格の変動が激しいため、収入に関しては常に低めの試算をするほうが安全であると思われる。また、本装置による栽培は現地の研究所にて試作実演されているものの普及にはいたっておらず、とりわけ吸収シートの費用負担分が解決できれば

農家レベルで安定した高収益が望めるものと思われる。

次に、省エネルギー養液栽培を導入した場合の効果を作付体系における時間的配列（作期順序；作型）、空間的配列（土地利用；混作、間作等）で検討し、併せて第4章で明らかになった使用済みココナツコイアの畑地への施用も検証した。

当該地域の1世帯当りの農地は経営面積で約2ライ（1ライ＝16 a；0.16 ha）が多く、特に果菜類を作付ける場合、夫婦二人では2~3ライ（32 a ~ 48 a）の面積を栽培管理するのが限界と言われている（農畜産業振興機構、2006）。ここでの作付体系は水稲と野菜をローテーションしながら栽培しているのが一般的である。地力を維持するために水稲作を中心にしており、1ライ（16 a）を水田、他の1ライ（16 a）を野菜作などの畑作に当てている。ここでは一般に雨季の到来とともに水稲を作付け、同時期に畑地では自給野菜を作付けるか休耕とし、稲作の後には換金野菜を作付けている。また、2ライ（32 a）の農地にトウモロコシ、マメ類を作付け、1ライ（16 a）ずつローテーションして連作障害を回避しつつ畑作を行っているところもある。さらに、中規模以上の農家では換金作物として水稲作をおこなっているほか、肥育牛の導入に加えて、キャッサバ、サトウキビも作付けている。当該地域の平均農業所得は約15,000 バーツ（48,000 円）で平均的な農家所得は約72,000 バーツ（231,000 円）であるため農業外所得への依存度が高い（佐藤 2008）。

省エネルギー型養液栽培装置による栽培での試算結果をもとに当該地域にてキュウリの周年作（2期作）をおこなう場合、年に1作だけ可能な露地栽培に比べて収益性は明らかに高くなる。しかしながら、本装置を利用した場合、1作の作付面積には限りがあり、約0.6ライ（10

a) が労働力、培地の量からも限界であると思われる。そこで、農家経営面積を2ライ (32 a) とした場合、1ライ (16 a) 分を雨期の水稲作に当てさらに、稲作の後作に露地トマト (加工用) を作付け、もう一方の1ライ (16 a) を野菜作の2期作にあてることが理想的であると思われる (Fig. 5-1-1)。そこで、省エネルギー型養液栽培装置による養液栽培の1期作の経営面積を0.6ライ (10 a) とすると残り0.4ライ (約6 a) が一般の畑作 (自給用の野菜作) に当てられる。

次に、このような作付体系を想定し、10 aを単位面積としてここでの収益を試算する。水稲1 ha当りの平均収量を約2350 kg (国際農林水産業研究センター・生産環境部、2001) とし、生産者価格を5.2 パーツ kg⁻¹; 15.6 円 kg⁻¹ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008) に見積もると、水稲1作期分の収益はおおよそ788.1 パーツ 10 a⁻¹ (約2,364 円 10 a⁻¹; 1,261 パーツ ライ⁻¹, 1 パーツ=約3 円) になる。この場合、家族経営および自給米生産であることを前提に労賃および肥料等の資材費を434 パーツ 10 a⁻¹ (1,302 円 10 a⁻¹) とした (国際協力機構、1998)。これに、キュウリ露地栽培の収益5,143 パーツ 10 a⁻¹ (15,429 円 10 a⁻¹) を加えると慣行の作付体系では年間総収益が5,931 パーツ 10 a⁻¹ (17,793 円 10 a⁻¹) になる。さらに、水稲作の後作に加工トマト (露地栽培) を作付けると想定して、10 a当りの収量を約2883 kg (農畜産業振興機構、2007)、kg当りの生産者価格を3 パーツ; 9 円 (農畜産業振興機構、2006) に見積もると、この分の収入は約8,649 パーツ 10 a⁻¹ (25,947 円 10 a⁻¹) になる。ここで、支出分の資材費 (肥料代等) をキュウリ栽培より仮定して差し引く (10a 当り約1,375 パーツ; 4,125 円の支出) と、トマトの収益は約7,274 パーツ 10 a⁻¹ (21,822 円 10 a⁻¹) になる。以上から慣行の作付体系での総収益を試算

するとおよそ 20 a 当り約 13,205 バーツ (39,618 円) に見積もることができる (Table 5-1-3)。これに対して、省エネルギー型養液栽培装置によるキュウリの 2 期作を導入した新しい作付体系の収益を先のキュウリ収益 (Table 5-1-2) を利用して、同様に水稲作、露地トマトの作付けを含めて試算すると、総収益は 20 a 当り約 30,591 ~ 約 63,646 バーツ (約 91,773 ~ 約 190,938 円) 見積もられる (Table 5-1-3)。このことから、省エネルギー養液栽培を利用した作付体系による年間の収益は従来の作付体系に対して、2.3 倍から最大 4.8 倍の増収効果が見込まれることになる。

ところで、水稲作以外の露地栽培用農地の地力を維持するためには、第 4 章で明らかのように使用済みココナツコイア培地を施用することが有効で、作付け時の資材投入量の不足を補いこれを循環させることによって持続的な生産体制を維持することが可能になってくる。新しい作付体系では収益とは別に、キュウリ 2 期作の間作に自給用葉菜類 (カラシ菜等) を栽培することも可能である (Fig. 5-1-1)。

1 回の養液栽培に利用される培地の量は 1 作期分として 1 ライ (16 a) 当り 4515 kg (10 a 当り約 2822 kg) が必要とされるため、ここでは前章で畑地に施用した培地量にやや近い数値になる (第 4 章では 1 ライあたり 3200 kg として施用、この値は 20 t ha^{-1} ; $2000 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ の施用量に当る)。したがって、4515 kg のうち、3200 kg を水稲作 1 ライ (16 a) の栽培終了後に施用し、残り 1315 kg を 0.4 ライ (約 6 a) の畑作地に施用すると地力維持資材として無駄なく有効に利用することができる。使用済みココナツコイアは少なくとも 1~2 年は養液栽培に再利用でき、本研究第 2 章からはカリウムや窒素の集積も示唆されたため、ある程度の肥料の節約も期待できるものと思われる。さらに、余剰の使用済

みココナツコイアは堆肥化させて長期備蓄することも可能で、投入資材として全て無駄のない利用が想定できる。さらに、第3章で明らかになったココナツコイア培地の水稻育苗へ利用も考慮すると、労働力、農地の集約化が期待でき、より土地生産力を上げることも可能であると示唆される。

ここで、気候、土壌など自然条件および経営面積は異なるが作付体系では当該地域に非常に似ており、企業型養液栽培が普及しているエジプト、ナイルデルタ地域の例を比較してみる。Table 5-1-4 は都市近郊に位置するこの地域の各園芸作物生産量と収益性を示したものである。これからも明らかのように、園芸作物の収益性はここでも穀類、マメ類等の換金作物 $10,713 \text{ 円 } 10\text{a}^{-1} \sim 14,286 \text{ 円 } 10 \text{ a}^{-1}$ (LE 1,500~2,000 feddan⁻¹; 1 LE= 約 30 円、1 feddan= 0.42ha) に比べてはるかに高い。ここで施設野菜栽培をしている中規模の先進的な農家の経営状況を示すと、経営面積は約 124 a (1.24 ha)、そのうち約 30 a (0.3 ha) をビニルハウス内の点滴灌漑栽培に、約 10 a (0.1 ha) を露地の点滴灌漑に当てている。残りの約 84 a (0.84 ha) は夏期的水稻、冬期の飼料作物 (エジプシャンクローバー)、食用種子スイカを作付け、これらの輪作を行っている。液肥を利用した点滴灌漑とビニルハウスの資材は当初 480,000 円 (16,000 LE, 1 LE = 約 30 円) の投資が必要であり灌漑資材は6年間交換を必要とせず、ハウスビニルは毎年交換するため 75,000 円 (約 2,500 LE) 必要としている。灌漑回数は週 2~3 回 (20 分/回) である。露地にはキュウリ、キャベツ、トマト、ニンニク、インゲンマメを混作して年 2 回作付けし、市場出荷の少ない冬季には高値で販売が可能になっている。水稻中心では 84 a (0.84 ha) から約 45,000 円 (約 1,500 LE) の所得しか得られないが野菜部門の所得は 48 a (0.48 ha) で

135,000 円 (4,500 LE) の所得が可能で、本人と雇用 1 名で生産し、作業負担も少なくなっている。しかしながら、ここの農家は今後養液栽培を取り入れ、経営面積全てを野菜作に転換する予定としているものの初期投資の削減が大きな課題となっている (国際協力機構、2003)。

この例からも明らかのように、養液栽培を利用すれば収益性はかなりあがるものの初期投資額および以後のメンテナンスに多額の資金を必要とし、特に開発途上国では一般的ではない。それゆえに、現地にて容易に入手できる環境負荷の少ない有機質培地を用い、初期投資の少ない省エネルギー養液栽培装置を利用することは非常に経済的で作付体系の中で高い生産効果が期待できると思われる。

5-3. まとめ

熱帯・亜熱帯地域の作物生産は連作障害を回避し、土壌の肥沃度をいかに維持するかにより生産性に大きな違いが出てくる。そのために小規模自給農家が既存の作付体系を見直して、作付け自由度の高い自然条件の利点を活かしながら養液栽培を導入することは土地生産性向上のために有効であると思われる。本章では、第 2 章から 4 章までの結果明らかにされたココナツコイア培地の特性を利用して省エネルギー型養液栽培装置による野菜の養液栽培を作付体系に導入した場合のシミュレーションを行いその可能性を検討した。その結果、経営面積を約 20 a とし、ココナツコイアおよび省エネルギー養液栽培装置による養液栽培を導入して水稻作と野菜作の 2 期作および混作を想定した場合、その年間収益はおよそ 20 a 当り約 30,591 ~ 約 63,646 バーツ (約 91,773 ~ 約 190,938 円) になり、従来の作付体系に対して、2.3 倍から最大 4.8 倍の増収効果が見込まれることが明らかになった。

Table 5-1-1. Depreciation expense of energy-saving hydroponics systems (materials only, except consumables and labor cost) in Thailand.

Materials	In Japan		In Thailand	
	Price/unit (yen)	Cost (yen)	Price/unit (baht [†])	Cost (baht)
	3300/		225/	
Culture bed	1.5 m × 0.6 m	1,114,000	1.2 m × 0.6 m	94,875
Floating bulb	2,000	44,000	90	1,980
	600/		200/	
Absorbing sheet	1m × 1.2 m	304,000	1m × 2.0 m	15,484
	180/		30/	
Root barrier sheet	1m × 1.2 m	91,000	1m × 1.2 m	15,180
Tank	50,000	1,100,000	550	12,100
Others (piping stems etc.)		500,000		50,000
Total		3,153,000		189,619

[†] 1baht = 3 yen.

Table 5-1-2. Expense of cucumber production in unit area (10 a) compared between field and energy-saving hydroponics in Thailand.

Cropping \ Expenditure	Tillage	Transplaning	Field management	Harvest	Seeds and seedlings	Fertilizers and chemicals
Cucumber (open field)	234	129	368	259	393	969
Cucumber (energy-saving hydroponics)	234	129	368	259	786	2,538
- double cropping 1 -						
Cucumber (energy-saving hydroponics)	234	129	368	259	786	2,538
- double cropping 2 -						

Cropping \ Expenditure	Fuel and consumables	Culture medium	Depreciation expense	Expenditure (total)
Cucumber (open field)	419	0	0	2,770
Cucumber (energy-saving hydroponics)	419	928	37,924	43,585
- double cropping 1 -				
Cucumber (energy-saving hydroponics)	419	928	37,924	43,585
- double cropping 2 -				

Cropping \ Income	Yield (kg 10 a ⁻¹)	Initial price (baht† kg ⁻¹)	Gross income	Net income
Cucumber (open field)	2,029	3.9	7,913	5,143
Cucumber (energy-saving hydroponics)	16,952	3.9	66,113	22,528
- double cropping 1 -				
Cucumber (energy-saving hydroponics)	16,952	3.9 (7.8)‡	99,169	55,584
- double cropping 2 -				

† 1 baht = 3 yen. ‡ price of dry-season.

Table 5-1-3. Expenditure and income between conventional and modified crop rotation system in Thailand.

Conventional cropping (20 a)				Modified cropping (20 a)			
Crop	Gross income (baht† 10 a ⁻¹)	Expenditure (baht 10 a ⁻¹)	Net income (baht 10 a ⁻¹)	Crop	Gross income (baht 10 a ⁻¹)	Expenditure (baht 10 a ⁻¹)	Net income (baht 10 a ⁻¹)
Paddy rice	1,222	434	788	Paddy rice	1,222	434	788
Tomato	8,649	1,375	7,274	Tomato	8,649	1,375	7,274
Cucumber; field	7,913	2,770	5,143	Cucumber (1); energy-saving hydroponics	66,113	43,585	22,528
				Cucumber (2) ‡; energy-saving hydroponics	99,169	43,585	55,584
Total (baht 20 a⁻¹)	17,784	4,579	13,205	Total (1) (baht 20 a⁻¹)	75,984	45,394	30,591
				Total (2) (baht 20 a⁻¹)	109,040	45,394	63,646

† 1 baht = 3 yen, ‡ expense of dry-season.

Table 5-1-4. Yield and net profit per unit area in Egyptian pound of vegetables and net profit in Egypt.

	Yield (ton 10 a ⁻¹)	Unit price (yen kg ⁻¹)	Net profit per area (yen 10 a ⁻¹)
Carrot	2.1 ~ 2.3	45.0	94,500 ~ 103,500
Cucumber	0.7 ~ 1.7	39.0	27,300 ~ 66,300
Eggplant	2.1 ~ 3.1	24.0	50,400 ~ 74,400
Tomato	1.0	45.0	45,000
Cantaloup	1.9	60.0	114,000
Potato	1.9 ~ 2.1	24.0	45,600 ~ 50,400
Onion	4.1	30.0	123,000
Cabbage	1.2 ~ 1.9	45.0	54,000 ~ 85,500
Lettuce	1.2 ~ 1.4	9.0	10,800 ~ 12,600

Source: Water management improvement project report JICA 2003.

A. Conventional cropping system.

Area	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
16 a (rai)	Tomato		Fallow			Rice				Tomato		
9.6 a (0.6 rai)	Fallow					Vegetables in open field					Fallow	
6.4 a (0.4 rai)	Leafy vegetables		Fallow					Fallow		Leafy vegetables		

B. Modified cropping system.

Area	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
16 a (rai)	Tomato		Fallow			Rice				Tomato		
9.6 a (0.6 rai)	Vegetables by energy-saving hydroponics		Fallow			Vegetables by energy-saving hydroponics				Fallow	Vegetables by energy-saving hydroponics	
6.4 a (0.4 rai)	Leafy vegetables		Fallow			Leafy vegetables		Fallow		Leafy vegetables		

Fig. 5-1-1. A pattern of conventional crop rotation system (A) and modified (new) crop rotation system (B) for the small-scale farmers in Thailand.

第6章

総合考察

熱帯・亜熱帯地域では、厳しい自然条件により作物の生産は安定していない。これらの地域では換金作物としての園芸作物、特に野菜類の作付けはほとんど無いのが現状である。しかしながら、穀作を中心とした生産体系は確立しており、特に連作障害を起こさない水稲の作付けは生産体系を維持する根幹となっている。園芸作物を含め、畑作物の多くは連作障害を起こすため、小規模農家では水稲作に園芸作物を組み込むことで高収益作物の導入を期待する傾向がある。しかしながら、小規模稲作農家に多い移植栽培では、苗床作成、苗取り、苗出し等の一連の作業が労働集約的で経済負担も多く、園芸作物にいたっては灌水の頻度、病虫害防除等、労働投入量がさらに増すのが現状である。このため、稲作における播種から育苗、さらに苗取り運搬にいたるまでの省力化と、園芸作の灌水、連作障害、病虫害回避のための作業の省力化は大きな課題となっている。

本研究はこれらの問題を解決するために、環境負荷の少ない持続的な栽培技術の開発に向けて、当地にて容易に入手できる有機質資源の有効利用法を明らかにし、新たな作付体系の可能性を検討したものである。

6-1. ココナツコイアを用いた野菜の省エネルギー型養液栽培

電力を必要としない省エネルギー非循環型の養液栽培装置を用い、有機副産物であるココナツコイアを培地としてキュウリの栽培を試み、本装置の可能性およびココナツコイアの特性をロックウールと比較検討した。その結果、ココナツコイア、ロックウール両培地ともキュウリは旺盛に生育した。キュウリの収量はココナツコイア培地区で16%高かった。また、可販果率も高くなる傾向を示した。さらに、市販培養液の標準およびその1/2濃度で、キュウリより生育期間を長くできるニガウリの生育、収量への影響を調べた。培地中の養分濃度変化、培地による養分の固定（吸着）、溶出等培地の物理、化学性の変化についても検討した。その結果、培地および培養液濃度のちがいによる生育への影響はみられなかった。株当りの正常果収量は、ココナツコイア培地では1/2濃度区で標準濃度区を上回ったものの、ロックウール培地との差はみられなかった。また、株当りの果数はココナツコイア培地の1/2濃度区で標準濃度区より少なかった。品質（果長）は培地および培養液濃度に影響されなかった。

6-2. ココナツコイアを用いた水稻苗の養液栽培

ここでは、ココナツコイアを利用し養液栽培で手植え苗を育成した。苗は水稻用標準培養液と、それに対して5倍、10倍、15倍、20倍の養液濃度に調整した培養液にて育苗した。その結果、茎葉および根の乾物重は播種から20日後にかけて他の培養液濃度より10倍の濃度区で最も大きかった。また、10倍濃度区は播種後10日目で市販の育苗培土に比べて同等もしくはそれ以上であった。しかしながら、苗の生育はその後育苗培土区に比べて徐々に劣るようになり播種後19日目

では茎葉と根の乾物重は減少した。ココナツコイアを培地に利用した水稲苗の培養液での育苗は可能と判断されたが、育苗培土の苗に比べて苗質は劣った。しかしながら、圃場における移植後の生育では違いが見られず、収量および収量構成要素も有意差は認められなかった。

6-3. 養液栽培に使用したココナツコイアの畑地への還元利用

これまでの実験ではココナツコイアを培地に、簡易養液栽培装置を用いてキュウリとニガウリの栽培を試み、さらにこの培地を利用した養液栽培により水稲の育苗を行いその可能性を明らかにした。ここでは養液栽培で使用したココナツコイアの再利用法の一つとして土壌中に施用し、吸着された養分およびココナツコイアの有機物がキュウリの生育・収量に与える影響をポット試験と圃場試験に分けて検討した。ポット実験の草丈、SPAD 値、葉中窒素濃度は、NPK 肥料施用区および肥料無施用区とも使用済みコイアの施用区が高かった。収量に関しては、肥料無施用区で収穫できたのは標準濃度の培養液で養液栽培を行った後のココナツコイアを施用した区だけであった。

圃場レベルの実験では化学肥料とともに 40 日間キュウリを栽培した。キュウリの収量は収穫第 1 週目から第 3 週目まで行い、第 3 週での収量の伸びが堆肥区と使用済みココナツコイア施用区で大であった。その後、同一圃場にてハウレン草、キャベツ、ダイコン、パクチョイを 3 年間栽培した結果、ほとんどの作物で他の処理区より使用済みココナツコイア施用区が高い収量を得た。以上のことから、ココナツコイアは肥料養分を保持し、過剰養分濃度に対して緩衝する働きもあることが示唆された。また、使用済みコイアの土壌への施用は実用可能で環境負荷に影響のない安全な処分方法のひとつであることが示され

た。

6-4. 省エネルギー型養液栽培への有機質培地利用の意義

熱帯・亜熱帯地方では土壌条件、特に土壌伝染性病害・塩類障害・土壌酸度等および不安定な降雨・旱魃等の気象条件が作物栽培に適しているとは言い難い。そのため、経済力向上により品質も問われるなか、今後養液栽培が有効な手段として取り入れられる可能性は高い。しかしながら、養液栽培の盛んなヨーロッパ、日本等では、施設に多大の投資が必要で、培地においては、高額なロックウール、ポリエステルファイバーのような無機培地の利用率が高い。また、これらを利用する場合、ある程度の栽培および作物生理に関する知識も必要である。これらは、とくに熱帯・亜熱帯地域の開発途上国において不安定な電気供給とあわせて養液栽培の普及への大きな障害となっている。

タイにおける養液栽培システムの建設費用を現地調達資材の費用に照らし、慣行の新素材を培地に利用した場合とそうでない場合で比較した報告がある(Thippayarugs et al., 2002)。これによると、ともに 10 a の経営面積を想定して先の無機化成培地を利用した場合、砂培地を利用した場合に比べると約 6.5 倍の費用負担になっている。さらに、培地にかかる費用の負担率は 40% を超えており、いかに培地が電力以外で費用負担になっているかが分かる。

豊富に産出される有機培地にはココナツコイア、サトウキビバガス、もみ殻、さらにその混合物等がある(Thippayarugs et al., 2001)。また、これらは熱帯・亜熱帯地域の植物から産出される副産物であるため、利用後の廃棄等環境に対する負荷も少ない利点がある。ここでは、安価で現地調達できる有機培地を利用することにより養液栽培利用の可能性が見えてくる。

養液栽培のほとんどは野菜類または花卉の栽培に利用されているのが現状である。これらの生産に関しては集約性が高く、作物の移植栽培が多い熱帯・亜熱帯地域の水稲育苗での利用も考えられる。日本では水稲のロングマット水耕苗による移植技術が改良を重ねられ定着しつつある。しかしながら、これらの技術は水耕であるためその培地素材には先の高額な人工の無機質が使用されており費用負担が大きいのは否めない。

現在東南アジアでフィリピンを中心にダポッグ形式の育苗が定着しているが最近ではこれに端を発したマット形式の育苗が盛んになりつつある。従来ダポックに利用されていたバナナの葉に変わる、利用しやすく養分供給のすぐれた方法が検討されてきた結果と言われている。これらの技術は、ほとんどが土壌を利用しないために取り扱いや運搬が楽であるが、苗の養水分の欠乏が大きな課題となってきた。そのため、最近では改良型ダポッグと称する育苗方法も考案され、堆肥の施用に合わせて有機質素材が盛んに培地基質として利用されつつある。

熱帯・亜熱帯地域にて多数を占める自給的稲作農家に対しても、先の省エネルギー型養液栽培装置は初期投資が少なく、野菜類の栽培、水耕栽培の知識経験がなくても容易に利用できるものと思われる。さらに、現地にて豊富なココナツコイアは養液栽培での培地使用後の畑地の肥沃化にも有効で、土壌改良の手段となり得る。また、稲作農家にとって育苗用施設後の平らな土地では養液栽培装置の設置が楽で栽培以後の撤去も簡単である。これらの地域では農家の経営規模は小さく変動の少ない気候条件等、作物の転換に自由度が高いため有機物を利用した栽培体系の改良が行われやすい利点もある。

6-5. ココナツコイアの特徴

有機副産物資材の利用は作物の生産力を高める効力を有するものもあればそうでないものあり、環境に与える影響も必ずしも良いものばかりとは言えない。80年代からココナツコイアが特に園芸用培地として利用され始めると、その特性を明らかにするため多くの研究がなされてきた。その性状も産出される地域で異なり、インド、スリランカ、タイ産のココナツコイアは粒子が細かくそろいも良いものが多いのに対してコスタリカ、コートジボワール、メキシコ産では粗い粒子のものが多く傾向にあると言われている (Abad et al., 2005)。物理性、化学性はココナツコイアが産出される地域、加工の程度 (粒子の大きさや形)、肥培管理、貯蔵状況 (期間) が影響している。物理性はピートモスに類似しており気相率、孔隙率は高いものの細かい粒子のものほど保水性が高くなることが示されている。化学性では一般にカリウム、塩素、ナトリウム含量が多く、加工処理、地域間で差が大きい。特に採取したての新しいココナツコイアではナトリウム、塩素が多いとの報告もある (Meerow, 1994; Konduru et al., 1999)。また、分解過程で窒素が吸着もしくは固定 (Handreck, 1993; Meerow, 1994; Prasad, 1997; Arenas et al., 2002) されるとの報告もある。しかしながら、化学性に関しては分析結果に多くの意見が分かれているのも事実である。さらに、生物的特性も明らかにされてきている (Prasad, 1997)。生長阻害物質の研究では植物毒性、解毒作用も報告されている。特に新しいココナツコイアを利用した場合にはフェノール化合物の毒性も指摘されており、その解毒作用には石灰処理および恒温処理が有効であるとの報告もされている (Ma and Nichols, 2004)。一方、熱帯・亜熱帯における有機物の分解に関する土壌温度、湿度等の研究は少ない。タイの報告によれ

ば、土壌中の有機副産物資材の分解率は稲わら、サトウキビバガスが顕著で、二酸化炭素の発生と高い正の相関が見られている。この場合、分解率は高温と浸漬（飽水）で最も高く、半浸漬状態、保湿状態、乾燥状態の順であった。C/N比はもとより、ここではリグニン含量が分解に対して大きく影響しており、低リグニン含量の資材では高温条件にて微生物等により容易に分解が促進されることが明らかになっている。これに比べ、ココナツコイア、もみ殻は高温、浸漬状態でも分解度は低く、これらは土中に長く維持される性質のものであることが報告されている (Thongjoo et al., 2005)。さらに、副産物分解後の土壌化学性および作物生産に与える土壌微生物の影響は糖分含量の高い有機物（バガス等）ほど大きく、多くの窒素が固定されていることが示されている。ここでは、トウモロコシの乾物生産量を最大にする二酸化炭素の発生量が限られた範囲(40~80 ppm min⁻¹)で示され、条件を満たす範囲で易分解性の有機物（稲わら、サトウキビバガス）において施用効果が見られている(Thongjoo et al., 2006)。ただし、これらは室内実験の結果であるため、肥料の施用効果とあわせて実際の圃場にて検討される必要がある。この研究からも明らかのように、ココナツコイアのセルロース、ヘミセルロース、リグニンの含量は比較的高く、これらの物質が分解を妨げつつ不活性化を示していることが分かる。

このように、ココナツコイアはこれまでの研究において培地としての特徴は多く研究されてきているものの、結果には多くのばらつきが見られる。また、これを実際に圃場へ施用して作物の生育・収量を調査した研究は先の有機物の分解に関する土壌温度、湿度等の研究同様少ないのが現状である。

6-6. 有機質培地適用の範囲と課題

(1) 省エネルギー型養液栽培装置による野菜類の栽培

ここでは、各養分濃度の培地への集積、作物による吸収は一定ではなく、葉中の無機成分は比較的变化が少ないため、培地の連用をはじめ他作物への利用に対してはさらに十分な検討が必要であると思われた。今後は作物および成分ごとの養液調整も必要になってくることが示唆された。よって実用化に向けては、使用前に十分な量の 1/2 培養液で培地を洗い、成分としては培養液の組成、濃度とほぼ同じにしてから使用するなどの工夫が必要である。さらに、水分蒸発とそれによる塩類集積を防ぐためのマルチの使用、培地ベッド表面からの灌漑、他の培地との混合、培地量の増減等も踏まえて検討する必要もある。このように、省エネルギー非循環型養液栽培装置ではココナツコイアなどの有機培地を利用した場合、作物の養分供給に対する生育状況に合わせた制御が非常に困難である。また、それぞれの作物の特性に合わせた培養液の調節も難しいため、作物の養分吸収能、培地の緩衝能によるところが多くなるのが現状である。このため、安価で簡易な栽培装置ではあるもののさらに培地の連用においてはその分解に対する養液の調整も十分考慮しなければならず、培地の耐用年数にあわせて培養液の効率的な利用を検討していかなければならない。

(2) ココナツコイアによる水稻苗の養液栽培育苗

水稻苗の養液栽培では、ココナツコイア培地に培養液を吸収させ 4-5 葉期の手植え苗を飽水状態で育成し、慣行の機械移植に利用される粒状培土にて育成した苗と比較、検討した。その結果、播種後 15 日目ごろからココナツコイア培地の高い液相率等が根の伸長形態に影響し、

さらに培地の窒素吸着も示唆された。これまでのココナツコイア培地の研究においてコイアの窒素吸着性が度々指摘されていたがここではさらに育苗床という過密な栽植密度の影響が吸収可能な窒素の濃度を減じていることも大きい要因であると考えられる。播種後 27 日目に当る 4-5 葉期までは苗の質等に関してある程度の生育は可能であることは判明しているものの、今後は播種後 19 日目以降追肥を行うなどの培地内窒素濃度減少に対する対策も検討する必要がある。本研究では水稻苗に対する生育阻害物質の影響は認められなかった。しかしながら、ココナツコイア、もみ殻等リグニン含量の高い有機培地はその分解過程でフェノール類、キノン類を中間代謝物として生成すると言われてしている (米林、2004)。そのため、育苗での飽水もしくは浸漬状態はココナツコイアの物理的性質から酸素不足になりやすくなるため、高温条件下での利用、さらにその連用に際してはフェノール類化合物に由来する生育阻害物質 (Ma and Nichols, 2004) への対策も考慮する必要がある。ただし、今回ココナツコイア培地にて育成された苗を利用した本田移植後の生育および収量では対照区に対して生育および収量の違いは見られず、移植後の生育では、ココナツコイアにて育苗された区において分けつ力が増す傾向にあった。今後はより安定した良質の苗の育苗に対して効率的な窒素養分濃度の検討、さらに移植後は温度、施肥、水分等多用な栽培条件による検討を重ねるとともに生育のより詳しい解析も必要である。

(3) 使用済みココナツコイアの畑地への還元

ニガウリの水耕栽培にて利用されたココナツコイア培地の畑地への施用を試み、使用済みココナツコイア培地の処理方法として土壌への

還元効果を検討した。ここでは、使用済みコイアの土壌への施用は実用的で環境に影響の小さい処分方法の一つであることが明らかになった。しかしながら、初年度生育後の土壌では慣行栽培跡地に比べて約3倍濃度の硝酸態窒素が土中に保持されていたため今後は土壌汚染への対策も念頭に土壌窒素の動向も明らかにする必要がある。

一般に有機物の土壌への施用に関しては養分供給および土壌改良の二通りの目的が考えられる。C/N比が低く分解されやすいものは養分供給に、C/N比が高く分解されにくいものは土壌改良に用いられる。ココナツコイアは稲わら、サトウキビバガスとは性状を異にしており、分解が緩やかでC/N比が高いため、後者の働きが大きい。そのため、本研究のように畑地にて施用される以前に養液栽培装置により過剰に吸着された養分がその後土中において効率的に養分を補完する機能があるとも考えられる。その後は分解とともに連用を通じて土壌改良資材として土壌団粒構造の発達による作物品質の向上も考えられる。さらに土壌微生物の働きを活発化させて病害虫等による連作障害を抑制する多面的効果も期待できる。今後、より長期にわたる栽培を試み使用済みコイア培地の分解が作物の生育、収量、さらに品質に及ぼす効果を検討していく必要がある。

6-7. 有機質資源を利用した作物の養液栽培を導入した作付体系

本研究の第2章で省エネルギー型養液栽培装置用培地としてのココナツコイアの特性を、第3章では水稻育苗培地としてのココナツコイア利用の可能性を明らかにした。第4章では第2、第3章で解明されたココナツコイアの特性を活かして、第2章で使用されたココナツコイア培地を畑地へ施用し、作物の生育・収量に対する効果を調査し、

さらに後作を3年間実施し、各作物の収量への効果を検討した。第5章ではこれまでに解明された特性を活かして現地調達の容易な有機質資材として栽培様式に循環利用し、土地生産性の向上を目指した新しい作付体系再編への可能性を視野にその経営効果を検討した。

実際に小規模農家では自家消費がほとんどで余剰分を販売に回し、都市近郊農家においては出稼ぎにて経営を補うのが現状となっている。作付けに関して自給的色彩の強い小規模穀作農家では飯米の確保に余裕が無く作物転換および輪作などの導入は容易ではない。一方、経営規模にやや余裕のある中規模以上(1 ha~2 ha)の農家では、作物の多様化およびこれらを導入した輪作体系が行われているため、野菜などの収益性の高い作物の導入への拡大が進む可能性も高いと言われている(宮武ら、2001)。第5章で論じたように、湿潤熱帯アジア地域に限らず乾燥地も含め熱帯圏では作付体系が多様で、それを集約化させることにより地力を維持している。一般に、2~3年の輪作がほとんどで雨期に水稻、トウモロコシなどの主要換金作物を栽培し、雨期の終わるころから乾期にかけて豆類、葉菜類を作付けしている。果菜類などの高収益野菜は、家庭菜園規模が多く換金作物の規模には満たないのが現状である。ここでは作付けを多様化し、収量、品質を向上させ、収益を上げるために主要換金作物の適期作付けと高収益作物、特に野菜類をいかに雨期作後、乾期作前に導入するかが課題である。農業経営をみると、タイもエジプトも零細農家が50%以上を占め、平均経営規模も1 haに満たない。自家消費分の穀物確保のために余裕のない小規模農家では、雨期作における水稻の割合が多く、自給的生産率の高さは水稻からの転換を難しくしているものと考えられる。

第5章ではココナツコイアを培地に利用し省エネルギー養液栽培に

よる野菜作を導入した場合の新しい作付体系を想定した経営評価を行なった。農家は高収益野菜である果菜類の作付けを好むため、ここでは当地にてトマト同様に需要が多いキュウリを例に従来の露地栽培とココナツコイアを培地とした省エネルギー養液栽培の年収益を比較した。その結果、養液栽培による収益は露地栽培に比べて4倍から10倍の収益が見込まれ、さらに水稻作を基幹作物とし、ココナツコイアを培地とした省エネルギー養液栽培を導入した場合の収益効果は従来の作付体系に比べて約2倍から5倍であることが試算された。このように、現地にて容易に入手できるココナツコイアを養液栽培に用い、さらに養液栽培使用後のココナツコイアを畑地に施用すれば地力を維持できることから作物および作付け様式の多様化が期待できる。また、作物の選択肢が増え間作、混作の組み合わせが可能になることは耕地内環境の生態的多様性を維持し、自然災害に対する危険分散を回避する伝統的な農法の特質を十分に利用できることを意味する。このように、ココナツコイアなど有機質資源を効率的に循環利用することにより、持続的な作物の安定生産が可能になり、さらに最新技術の一部である養液栽培と組み合わせることにより伝統技術との融合がなされ、持続的な生産性の向上に資する農法の確立が期待できる。

6-8. まとめ

本研究では、容易に入手できるココナツコイアを培地に利用し、省エネルギー型養液栽培装置にてキュウリおよびニガウリを栽培した結果、生育・収量とも既存の無機培地と比べて遜色のないことを明らかにした。さらに、ココナツコイア培地を利用して、養液栽培での水稻苗の生育特性を解明し、養液育苗の可能性を示唆した。そして持続的

な作物生産の見地から使用済みココナツコイア培地の畑地への施用効果を明らかにするとともに、省エネルギー栽培装置による養液栽培を導入した場合の作付体系の経営評価を行い、再編の可能性を検討した。

ココナツコイア培地を野菜類の養液栽培に利用した場合、保水性や気相率の向上など根圏の物理性が改善され、また化学的には過剰な培養液養分の供給が緩衝されるなど、多くの利点を確認された。これらの特性は野菜類の生育、収量にも優れた効果を示した。また、水稻育苗への利用は初の試みであり、園芸作物から穀類へと利用範囲を広げる可能性を示した。さらに、養液栽培にて使用したココナツコイア培地を畑地へ施用し、後作を3年続けた圃場試験も初の試みであり、ココナツコイアの優れた物理的特性、および緩効的な養分の供給効果が明らかになった。また、これを利用した作付体系の経営評価では大幅な収益の増加が見込まれ、ココナツコイアの利用が現地にて容易に入手できる有機質資材を先進技術と融合させた新しい技術の基礎となることが示唆された。

以上のことから、本研究により、ココナツコイアが環境負荷の低減と持続的な栽培技術の開発が期待される熱帯・亜熱帯地域に対して、先端技術である養液栽培と伝統の土耕栽培を融合した有効な作付体系を可能にするものであり、土地生産性の向上に寄与する有効な有機質資材であることが明らかになった。

摘要

本研究は熱帯・亜熱帯地域における環境負荷の少ない持続的な作物栽培技術の開発のため、当該地域で容易に入手できる有機質資源であるココナツコイアを有効利用する新たな作付体系の可能性を検討したものである。

電力を必要としない省エネルギー非循環型の養液栽培装置の培地にココナツコイアを利用してキュウリの短期栽培を行い、本装置の利用可能性およびココナツコイアの特性をロックウールと比較検討した。その結果、ココナツコイア、ロックウール両培地ともキュウリは旺盛に生育し、ココナツコイア培地ではキュウリの収量と可販果率がロックウール培地より高くなる傾向を示した。両培地とも硝酸態窒素、カリウム、マグネシウム、リン酸が集積し、とくにココナツコイア培地ではカルシウムが培地に固定されることが判明した。さらに、ニガウリを本装置で 1/2 濃度培養液で長期栽培し、塩類集積の影響を検討したところ、生育盛期のココナツコイア培地中の養分濃度は、供給養分濃度の 5~9 倍に上昇したが、ニガウリの収量は 1/2 濃度区が標準濃度区を上回った。よって、ココナツコイアを培地に利用したキュウリおよびニガウリの栽培は十分可能であることが明らかになった。

ココナツコイア培地を利用し、4-5 葉の手植え用苗の養液栽培を試みたところ、ココナツコイア培地で育苗した苗（コイア苗）の一次根は育苗培土で育苗した苗（培土苗）よりも発達したが、分枝根は劣っていた。また、コイア苗は培土苗に比べて葉身のクロロフィルおよびタンパク質含量、純同化率、光合成速度が劣り、育苗終了時の苗の生長量、乾物重が劣った。コイア苗の分枝根の発達不良にはココナツコイ

ア培地の物理化学的性質や窒素の吸着が関連することが示唆された。以上の結果から分枝根の発達による養分吸収能が苗の生育に大きく影響することが明らかになったが、コイア苗をポットおよび圃場に移植したところ、その後の生育および収量は培土苗と同等であった。

ニガウリの養液栽培に使用したココナツコイアを畑地へ施用し、キュウリの生育・収量とその後作に対する影響を調査した。その結果、キュウリの3週目までの収量は、堆肥区と使用済みココナツコイア施用区との間に差はみられなかった。キュウリ栽培後の土壤中の養分濃度を分析したところ、硝酸態窒素が堆肥区の約3.5倍残存していた。また、使用済みココナツコイア施用区および堆肥施用区の土壤孔隙率が増加した。その後3年間、同一圃場でハウレンソウ、キャベツ、ダイコン、パクチョイの連続栽培を行ったところ、ココナツコイア施用区のキャベツ以外の作物の収量が他の処理区より高く、ココナツコイアは養液栽培後に畑地に施用可能であることが示された。

ココナツコイア培地の特性を利用して省エネルギー型養液栽培装置による野菜の養液栽培を導入した作付体系のシミュレーションを行いその経営効果を検討した。その結果、水稻作と養液栽培による野菜類の2期作および野菜類の畑栽培を想定した作付体系の場合、従来の水稻作と野菜類の畑栽培の作付体系と比べて、2.3倍から最大4.8倍の増収が見込まれることが明らかになった。

以上のことから、ココナツコイアを有効利用することにより、熱帯・亜熱帯地域の小規模稲作農家が野菜の養液栽培と畑栽培を組み合わせた環境負荷の少ない持続的な作付体系を導入する可能性が示された。

謝辞

本研究の遂行および本論文の取りまとめに当って終始懇篤なるご指導と校閲の労をとられた筑波大学大学院生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻丸山幸夫教授に心から拝謝いたします。また、筑波大学大学院生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻坂井直樹教授、同専攻弦間洋教授、同研究科先端農業技術科学専攻梅本貴之准教授（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所）、同研究科生物圏資源科学専攻福田直也講師には、本論文のとりまとめに当りまして大変に有意義な示唆をいただき、ご校閲の労をとっていただきました。謹んで御礼申し上げます。

独立行政法人国際協力機構筑波国際センター元研修指導者山下忠明博士には研究の端緒を作っていただくとともに研究の遂行ならびに貴重なご助言をいただきました。ここにつつしんで感謝の意を表します。また、実験および論文とりまとめ中、ご援助いただきました海外農業開発協会第二事業部小山真一職員、筑波大学大学院生命環境科学研究科加藤盛夫助教、同研究科志水勝好講師はじめ作物学・比較環境農学研究室の皆様、卒業生の皆さんに深く感謝申し上げます。

なお、本研究の実施に当ってご理解とご協力をしてくださいました社団法人海外農業開発協会、独立行政法人国際協力機構筑波国際センターの皆様にご心より感謝申し上げます。

最後に、これまで理解し、支えてくれた妻友里恵に対し深く感謝の意を表します。

引用文献

- Abad, M., F. Fornes, C. Carrion, V. Noguera, P. Noguera, A. Maquieira and R. Puchades 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. HortScience 40: 2138-2144.
- Arenas, M., C. S. Varrina, J. A. Cornell, E. A. Hanlon and G. J. Hochmuth 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. HortScience. 37 : 309-312.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
- 坂東一宏 1999. 環境にやさしい！ヤシガラ培地によるトマトの養液栽培. 園芸新知識 12: 23-26.
- Chulaka, P., T. Maruo, M. Takagaki and Y. Shinohara 2003. Organic substrates of tropical origin for use as growing media for vegetable transplant production. Jpn. J. Trop. Agr. 47 : 260-265.
- Cresswell, G. C. 1992. Coir dust – A viable alternative to peat?, p. 1-5. In: Proc. Austral. Potting Mix Manufacturers Conf., Sydney.
- 江原宏・森田脩・森田智恵・川嶋みず恵・末松優 2001. 野菜用水耕システムを利用した水稻マット水耕育苗における培養液の窒素組成の違いが苗の生育に及ぼす影響. 日作紀 70: 359-364.
- Escarbarte, R. S. Jr, J. N. M. Buhat, J. C. Leon 2005. Modified dapog method appropriate for growing hybrid rice seedlings. Philippine Journal of Crop Science 30: 29.
- Evans, M. and R. H. Stamps 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. HortScience 31 : 965-967.
- Fonteno, W. C. and P. V. Nelson 1990. Physical properties of and plant responses to rockwool-amended media. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 375-381.

Food and Agriculture Organization of the United Nations 2003. Production Yearbook 57: 131-132.

Food and Agriculture Organization of the United Nations 2008. FAOSTAT, <http://faostat.org/site/>.

Geraldson, C. M. and K. B. Tyler 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops in soil testing and plant analysis, 3rd ed. Soil Science Society of America (Wisconsin) 549-562.

Handreck, K. A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24: 349-363.

Hoshikawa, K. 1989. The Growing Rice Plant An Anatomical Monograph. Nobunkyo, Tokyo. 183-199.

Islam, M. D., T. Ito, T. Maruo, M. Hohjo, S. Tsukagoshi and Y. Shinohara 2002. Effect of organic substrates on growth, morphological, reproductive and quality characteristics of tomato crops. Jpn. J. Trop. Agr. 46: 272-278.

岩崎泰永・千葉佳朗・佐々木丈夫・三枝正彦 1999a. トマトの培養液循環型養液栽培におけるヤシ殻繊維培地の利用. 園芸学雑誌 68 別 2: 306.

岩崎泰永・佐々木丈夫・千葉佳朗・三枝正彦 1999b. 土壌を培地としたトマトの循環型灌水施肥システムにおける排液イオン組成の変動. 園芸学雑誌 68: 1161-1169.

Joshi, V. R., K. E. Lawande and P. S. Pol 1994. Studies on the economic feasibility of different training systems in bitter gourd. J. Maharashtra Agric. Univ. 19: 238-240.

国際協力機構 1998. タイ王国持続的農業開発のための灌漑排水システム管理近代化短期調査報告書.

国際協力機構 2003. エジプト水管理改善計画短期調査報告書.

- 国際協力機構 2006. 北部タイ省農薬適正技術計画報告書.
- 国際農林水産業研究センター・生産環境部 2001. 東北タイの天水田稲作地帯における乾田直播栽培の適応性. 国際農林水産業研究成果情報 9: 17-18.
- 加藤秋男 1998. アブラヤシ, ココヤシの栽培の起源と発展. アブラヤシとココヤシの生産, 加工と流通. 調査研究叢書 No. 16 社団法人 国際農業協力協会 6-11.
- 加藤俊博 2002. 培地の種類・特性. 養液栽培の新マニュアル. 社団法人 日本施設園芸協会編 20.
- 加藤俊博 2003. 養液栽培の各培地とその特性. 農耕と園芸 58: 66-71.
- Konduru, S., M. R. Evans and R. Stamp 1999. Coconut husk and processing effects on chemical and physical properties of coconut coir dust. HortScience 34: 88-90.
- 久場峰子 2004. ゴーヤの栽培方式と施肥. 九州・沖縄の農業と土壌肥料 2004 (日本土壌肥料学会 2004 年度 福岡大会記念 九州支部編). 日本土壌肥料学会 200-202.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.
- Ma, Y. B. and D. G. Nichols 2004. Phytotoxicity and detoxification of fresh coir dust and coconut shell. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 205-218.
- Mae, T. and K. Ohira 1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza sativa* L.). Plant Cell Physiol. 22: 1067-1074.
- 前田乾一・志賀一一 1978. 水田条件下における各種有機物資材の分解過程. 日本土壌肥料学会誌 49: 455-460.
- Mangal J. L., M. L. Pandita and G. R. Singh 1981. Effect of various chemicals on growth, flowering and yield of bitter melon. Indian J. Agric. Res. 15: 185-188.

Meerow, A. W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. HortScience 29 : 1484-1486.

Miller, R. W. and D. T. Gardiner 2001. Soil in Our Environment, 9th Ed. Prentice Hall (New Jersey) 642.

宮武恭一・浦山久・A. I. El Maradny 2001. エジプト・ナイルデルタにおける作付体系再編の可能性. 2001 年度日本農業経済学会論文集: 284-289.

Mulvaney, R. N. 1996. Nitrogen — Inorganic Forms. In: Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. (Bartels, J. M. and J. M. Bigham eds.) SSSA Inc. (Wisconsin) 1123-1184.

農畜産業振興機構 2006. 野菜情報 22.

農畜産業振興機構 2007. 平成 18 年度 輸入野菜情報収集事業に係る調査報告書.

沼田益朗・田近克司・小池潤 2001. バーク堆肥を利用した軽量な水稻育苗用培地の開発. 日本土壌肥料学雑誌 72: 689-693.

大谷和彦・菊池清人 1999. 水稻育苗箱の軽量化. 栃木農試研報 48: 13-20.

Prasad, M. 1997. Physical, chemical and biological properties of coir dust. Acta Hort. 450: 21-29.

坂本有香・渡邊慎一・岡野邦夫・巽二郎 2001. 保水シート耕方式の養液栽培における根域の気相/液相部比率がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園芸学雑誌 70: 622-628.

Sakuma, H. and K. Suzuki 1997. Development of energy-saving hydroponics systems without requiring electricity. JIRCAS Journal No.4 : 73-77.

佐々木修・山崎耕宇・原田二郎・川田信一郎 1981. 水稻の分枝根形成に及ぼす窒素施肥量および茎葉部への遮光・剪葉の影響. 日作紀 50: 457-463.

- 佐藤和憲 2008. 東北タイのコミュニティマーケットの現状. 月報 野菜情報
—海外情報—. <http://www.vegenet.jp/yasaijoho/kaigai/0809/kaigai.html>.
- 佐藤隆・吉田浩・木村和夫・矢野和男 1977. 水稻育苗における「もみがら」培
地の利用. 農業および園芸 52: 523-528.
- Scagel, C. F. 2003. Growth and nutrient use of ericaceous plants grown in media
amended with sphagnum moss peat or coir dust. HortScience 38 : 46-54.
- Shinohara, Y., T. Hata, T. Maruno and T. Ito 1999. Chemical and physical properties of
the coconut-fiber substrate and the growth and productivity of tomato. Acta Hort.
481 : 145-149.
- Stamps, R. H. and M. R. Evans 1997. Growth of *Dieffenbachia maculata* 'Camille' in
growing media containing sphagnum peat or coconut coir dust. HortScience 32 :
844-847.
- 杉村順夫 1989. ココヤシ栽培の現状と技術開発の展望. 熱帯農業 33: 186-196.
- 杉村順夫 1993. ココナッツの生産現状と需給動向. 熱帯農業 37: 316-321.
- 竹山孝治 2003. 養液栽培トマトの経済性と土耕栽培との比較からみた養液栽培
システムの導入条件. 農耕と園芸 58: 72-76.
- Tan, K. M. 1996. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. Marcel Dekker (New York).
408.
- 田坂幸平・小倉昭男・唐橋需 1996. 水稻の水耕育苗と移植技術の開発に関する
研究 (第1報). —育苗方法と苗の巻取り—. 農業機械学会誌 58: 89-99.
- 田坂幸平・小倉昭男・唐橋 需・新山裕之・名本学・金子辰美 1997. 水稻の水
耕育苗と移植技術の開発に関する研究 (第2報). —ロングマット水耕育苗用
田植機の開発と移植試験の概要—. 農業機械学会誌 59: 87-98.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J.
Ecol. 63: 995-1001.

- Thampatti, K. C. M., G. S. Kumari, R. Mathew and P. Chandrasekharan 1993. Consumptive use, pattern of soil moisture extraction and water use efficiency of bittergourd (*Momordica charantia* L.) under varying irrigation and nitrogen levels. *J. Tropic. Agric.* 31: 39-43.
- Thippayarugs, S., K. Suzuki, Y. Katsuta, A. Yoshida, N. Matsumoto, N. Kabaki and C. Wongwiwatchai 2001. Vegetable production using energy-saving hydroponics systems in Northeast Thailand. *JIRCAS Journal No.9* : 33-38.
- Thippayarugs, S., K. Suzuki, Y. Katsuta, A. Yoshida, N. Matsumoto, N. Kabaki and C. Wongwiwatchai 2002. Vegetable production using energy-saving hydroponics systems in Khon Kaen. *JIRCAS Working Report No.30* : 161-165.
- Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo 2005. Effects of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. *Plant Prod. Sci.* 8: 475-481.
- Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo 2006. Soil productivity after decomposition of waste materials under different soil moisture and temperature. *Plant Prod. Sci.* 9: 106-114.
- 宇田川雄二 2000. 養液栽培の新しい培地を使った研究, 固形培地耕のあゆみ. *農耕と園芸* 55: 168-171.
- 浦山久・L. J. Matthews・V. J. Coetzee・山下忠明 2005. ココナツコイアを用いた省エネルギー型養液栽培装置によるキュウリの栽培試験. *熱帯農業* 49 : 154-158.
- 浦山久・A. P.M. Irungu・P. K. Chege・D. T. Moabi・山下忠明 2007. ココナツコイア培地を利用した省エネルギー養液栽培におけるニガウリの生育と収量. *熱帯農業* 51: 177-182.
- Wang, Y., K. Tasaka, A. Ogura and S. Maruyama 1999. Growth and physiological characteristics of rice seedlings raised with long mat by hydroponics. *Plant Prod. Sci.* 2: 115-120.

柳井利夫 1976. ハウス野菜栽培における稲わら施用と窒素施肥. 農および園芸
51: 1252-1258.

山田盾 2004. 作物体系. 新編 農学大事典. 養賢堂 995-1003.

米林甲陽 2004. 土壌の有機成分. 新編 農学大事典. 養賢堂 254-258.