

養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培

大宮 秀昭^{a)}、酒井 一雄^{a)}、比企 弘^{a)}、瀬古澤 由彦^{b)}

^{a)} 筑波大学農林技術センター技術室、^{b)} 筑波大学生命環境系

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

加温ハウス下での養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培を 2008 年度より 3 年間行なった。栽培試験を行った結果、パッションフルーツ、スターフルーツ、マンゴーの 3 作目のいずれでも新梢の生長が良好であった。また、果実の着果も確認することができたことから、つくば市においても熱帯果樹の加温ハウス下での養液土耕栽培は可能と考えられた。特にパッションフルーツにおいては、果実の収穫が夏季と冬季の年 2 回可能であった。定植するポットは果実の品質や収量性から実用性を検討したところ、全面遮根型の不織布ポットが良いと考えられた。

キーワード：熱帯果樹、養液土耕栽培、パッションフルーツ、不織布ポット

1. はじめに

一般的に果樹栽培において、成長開始前（冬季）の休眠期に元肥を施用し、生育状況を確認しながら追肥、さらに果実収穫後に礼肥を行う。しかし、経験や勘による施用が多いため、多肥傾向であり、塩類集積により作物生育が阻害され、生育不良や減収を招くおそれがある。また、果樹露地栽培では、収穫量や果実品質を良くするために、窒素施用量で作物体吸収量以上の過剰施肥が行われており、地下水、河川への流出から水質の富栄養化等の環境問題が問題視されている。

そのようなことから、これらの諸問題に対し、施設野菜等で行われている養液土耕栽培を利用することで、灌水と液肥を同時施用し、施肥効率を向上させ環境負荷を低減することが出来るようになる。また、養液栽培システムを利用することで、養液の散布量が均一になり、生育を安定させながら、低コストで収穫作業の軽減等の省力化、収穫量増と品質向上の可能性を図ることができると考えられる。

近年、我が国においてはマンゴー（図 1）等の熱帯果樹の需要は年々高まってきており、高品質な国内産果実はかなりの高価格で取引されている。しかし、その要求される気候条件によって、国内における生産地は九州、沖縄等に限定されている。そして、マンゴー以外の熱帯果樹でも、パッションフルーツ（図 2）は栄養成分に β カロテンが豊富に含まれており、他にカリウム、ビタミン B6 の成分を有し、老化防止、高血圧予防、健康維持に役立つ果物である。また、スターフルーツ（図 3）は特に剪定等の作業労力に手を掛ける必要も無いことから施設栽培に向く作目と考えられる。また、ビタミン C、植物繊維を多く含むことから健康志向にも良いと考えられ、我が国においてこれからの消費の拡大が十分見込まれる。

そこで北関東に属する茨城県つくば市において、気候的に不適地における熱帯果実の生産を効率的に行うため、加温ハウス下での養液栽培システムを利用した熱帯果樹栽培試験を 2008 年度より実施した。



図 1. マンゴー果実
(2011 年 12 月 6 日撮影)



図 2. パッションフルーツ果実
(2011 年 12 月 6 日撮影)



図 3. スターフルーツ果実
(2011 年 7 月 22 日撮影)

2. 材料および方法

2008 年から筑波大学農林技術センター内の冬季加温可能な温室内で熱帯果樹栽培試験を行った。温室内気温が 15℃ 以下になると暖房機器が作動するように設定した。2008 年はスターフルーツ‘蜜桃(ピットー)’、マンゴー‘アーウィン’、パッションフルーツ紫系交雑種の 3 作目を 3 本ずつ供試し、不織布ポット (J-master (口径 15 cm)、全面遮根型 (R 型)、GUNZE) で樹体の根域制限を行った。そして、養液土耕栽培システム (図 4) を作製することで、水溶性園芸肥料『養液土耕 2 号』(N14-P8-K25、(株)大塚化学) の養液 EC 値(電気伝導度)を 1 ds/m に希釈した養液をチューブ点滴で 1 分 30 秒 / 1 回を 6 回 / 1 日施用した。



図 4. 養液栽培システム (2008 年度)



養液栽培装置
(株)サンホープ

雨樋を利用した
栽培システム



図5. 養液栽培システム (2009 年度以降)

2009 年度以降は 2008 年度の調査結果からパッションフルーツに重点をおいて試験を行なった。そして、パッションフルーツは雨樋と養液栽培装置 (株) サンホープ) を利用したシステム (図 5) を用いた。マンゴーおよびスターフルーツに関しては低段ベンチでコンテナを使用した養液土耕栽培を実施した (図 6)。施肥は水溶性園芸肥料『養液土耕 2 号』を 12000 倍に希釈した養液をチューブ点滴で 3 分 / 1 回を 4 回 / 1 日施肥した。パッションフルーツの仕立て方法は 2009 年度以降から棚仕立て (T 字 1 本仕立て) とした。収穫はパッションフル

ーツが 8 月下旬～9 月下旬 (夏実)、1 月上旬～2 月下旬 (冬実) の年 2 回、スターフルーツが 1 月下旬～3 月上旬、マンゴーは 8 月中下旬に行った。



低段ベンチ
(熱帯果樹配置前)



熱帯果樹配置後

図 6. 低段ベンチによるコンテナを利用した熱帯果樹の養液土耕栽培 (2009 年)

試験は、2008 年はマンゴーにおいて樹体生長を測定するとともに、葉中に含まれる葉緑素量について、葉緑素計 (SPAD-502、ミノルタ) を使用して、SPAD 値 (ミノルタ製葉緑素計の指示値) を測定した。2009 年はパッションフルーツを用いて黒色のポリエチレンポット (口径 10 cm、栽植間隔 50 cm) 並びに不織布ポット (全面遮根型 (R 型)、口径 15 cm) (図 7) の栽植間隔 (25 cm、50 cm、100 cm) の違いによる栽培試験を実施し、果実収穫後に地上部、地下部の生長量を調査した。



図 7. 試験に使用した定植ポット (2009 年)
左側：不織布ポット：J-master R (GUNZE)
口径：15 cm 全面遮根型
右側：ポリエチレンポット(黒)
口径：10 cm

2010 年についてもパッションフルーツで不織布ポット (J-master (口径 15 cm)、全面遮根型 (R 型)、側面遮根型 (T 型)、底面遮根型 (K 型)、GUNZE) の 3 種類並びに全面遮根型の不織布ポットを用いて定植年数の違いによる栽培試験を栽植間隔 25 cm で実施した (図 8)。試験は新梢生長と SPAD 値

を計測し、果実収穫後に植物体の解体を行い、地上部、地下部の生長量を測定した。また、葉面積を画像解析によって測定した。果実に関しては果実径、重量を測定し、果実糖度を調査した。



全面遮根型 (R 型)



側面遮根型 (T 型)



底面遮根型 (K 型)

図 8. 試験に使用した定植ポット (2010 年)
不織布ポット : J-master (GUNZE)、口径 15 cm

3. 結果

2008 年度は気候的に不適地における熱帯果樹の樹体生長並びに着果から果実生産の可能性について検討した。試験に用いた樹種の中でも、パッションフルーツの生育は良好で、夏季、冬季の年 2 回の果実収穫が可能であった。夏季は、開花が 5 月下旬～7 月中旬、収穫が 8 月上旬～9 月下旬、冬季は、開花が 9 月中旬～10 月上旬、収穫が 1 月上旬～2 月下旬となった。開花から収穫までの期間は、冬実が 126.6 日に対して夏実が 70.9 日であり、収穫まで冬実が夏実の約 1.8 倍の日数を要した。また果実糖度は夏実が 15.5 度、冬実が 16.9 度であり、冬実の方が高くなった。このことから、成熟までの期間は長くなるものの、加温することで冬実でも良質な果実が取れると考えられた (図 9、表 1)。



定植時

(2008 年 4 月 1 日)



収穫時

(2009 年 2 月 17 日)

図 9. パッションフルーツ生育状況

表 1 パッションフルーツ果実の収穫時期別品質比較 (2008 年)

収穫時期	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (%)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実	70.9 ± 1.1	58.6 ± 1.0	62.4 ± 0.4	52.9 ± 0.3	15.5 ± 0.1
冬実	126.6 ± 1.4	60.6 ± 2.0	58.0 ± 0.6	51.7 ± 0.6	16.9 ± 0.1

(平均値 ± 標準誤差)

次いでスターフルーツでも生育は良好であり、9 月上旬に開花が始まり、10 月上旬に着果が確認できた。果実は 10 月下旬には 2 cm 程度の大きさになり、1 月下旬には 17 cm 程度の大きさになり、収穫を行った (図 10)。



定植時
(2008 年 4 月 1 日)



生育途中の状態
(2008 年 9 月 11 日)



着果確認 3 週間
後果実
(2008 年 10 月 22
日)

収穫時
(2008 年 1 月 16
日)



図 10. スターフルーツ生育状況

マンゴーでは、11 月中旬から新梢が生長を開始し、1 月中旬に開花が確認できた。その後、2009 年

7月下旬に果実収穫は出来たものの、受精が上手くいかず、無核で小さな果実が多かった(図11)。



定植時
(2008年4月1日)



開花時の樹木の状態
(2009年1月16日)



蕾
(2009年1月16日)



花
(2009年2月6日)



収穫した果実
(2009年7月28日)

図11. マンゴー生育状況

2009年度はパッションフルーツに重点をおいて、定植ポットの素材並びに栽植間隔の違いによる栽培試験を実施した。冬実の収穫後に行なった生長量調査では、ポリエチレンポットと不織布ポットのいずれも栽植間隔50cm区では、新梢長はポリエチレンポット区で84cm、不織布ポット区では154cmであった。地上部の生体重はポリエチレンポット区で51.1g、不織布ポット区80.0g、地下部の生体重はポリエチレンポット区で18.8g、不織布ポット区34.0gとポリエチレンポット区はいずれの項目でも不織布ポット区よりも明らかに劣る結果となった。不織布ポットを用いて栽植間隔を変えたところ、新梢生長は不織布ポット25cm区が175cmと最も生長した。地上部は不織布ポット25cm区(生体重94.8g、乾物重31.0g)と不織布ポット100cm区(生体重93.2g、乾物重30.3g)で、生長が良く、両者に差はみられなかった。地下部は不織布ポット100cm区が生体重52.2g、乾物重7.0gと最も生長していた(表2、図12)。

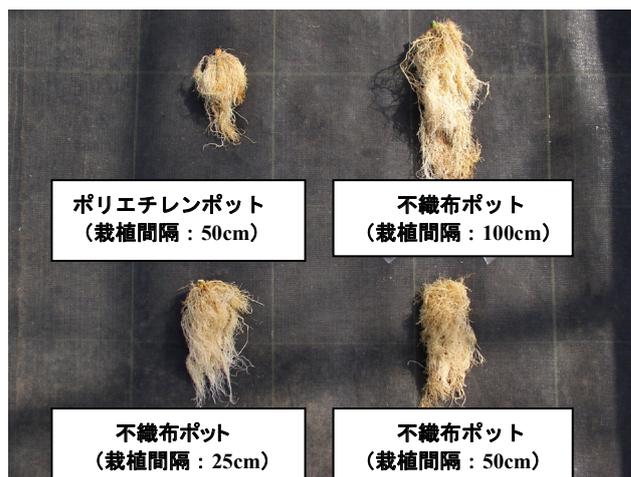
表2 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの生長量に及ぼす影響(2009年)

素材	栽植間隔 (cm)	新梢長 (cm)	地下部		地上部	
			生体重(g)	乾物重(g)	生体重(g)	乾物重(g)
不織布	25	175 ± 2.8	27.5 ± 3.6	4.3 ± 0.2	94.8 ± 6.7	31.0 ± 0.6
不織布	50	154 ± 7.8	34.0 ± 4.8	5.2 ± 0.7	80.0 ± 6.8	25.5 ± 2.3
不織布	100	145 ± 10.5	52.2 ± 0.9	7.0 ± 0.6	93.2 ± 5.1	30.3 ± 1.3
ポリエチレン	50	84 ± 24.1	18.8 ± 1.6	3.0 ± 0.2	51.1 ± 7.9	16.0 ± 2.9

(平均値±標準誤差)



地上部の生長状況



地下部の生長状況

図12. 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの地上部および地下部生長に及ぼす影響(2009年)

果実では、受粉から収穫までの生育期間が冬実は122日、夏実が73日であり、冬実は夏実の約1.7

倍の生育期間が必要であった。果実重量は冬実が 51.5 g、夏実が 38.1 g と冬実が夏実の約 1.4 倍の重量であった。しかし、果実糖度は夏実は 15.0 度、冬実が 15.1 度と変わりはない(表 3)。夏実では定植ポットの素材の違いで比較してみると、受粉から収穫までの生育期間は、ポリエチレンポット区が 64 日と短期間で生育した。しかし、重量ではポリエチレンポット区は 29.2 g、不織布ポットが 32.8 g とポリエチレンポット区が若干劣る結果となった。果実径、糖度では差はみられなかった。栽植間隔の違いで比較してみると、生育日数に差はみられなかったが、不織布ポット 25 cm 区が重量は 43.7 g、果実糖度が 15.5 度と、ともに最も良かった。冬実では素材の違いでは、ポリエチレンポットが重量、果実径で劣る結果となったが、生育日数、糖度は、不織布ポットと差はみられなかった。栽植間隔の違いで比較すると夏実同様、生育日数に変わりはないが、重量は不織布ポット 100 cm 区が 64.1 g と最も良かった。しかし、いずれの区とも果実糖度には差はみられなかった(表 4)。

収量性 (147 m²、1 ライン 12 m × 5 ラインで算出) は、素材の違いで比べてみると、ポリエチレンポット区は夏実が 0.58 kg / 147 m²、冬実は 2.48 kg / 147 m²であり、不織布ポットは夏実が 2.62 kg / 147 m²、冬実は 8.7 kg / 147 m²となり、ポリエチレンポット区は明らかに劣る結果となった。栽植間隔で比べてみると、不織布ポット 25 cm 区が夏実は 4.37 kg / 147 m²、冬実が 13.31 kg / 147 m²と共に高かった(図 13)。

表 3 パッションフルーツ果実の収穫時期別品質比較 (2009 年)

収穫時期	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (%)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実	73 ± 3.0	38.1 ± 3.3	56.6 ± 1.2	49.7 ± 0.9	15.0 ± 0.2
冬実	122 ± 3.0	51.5 ± 2.4	57.0 ± 0.7	48.7 ± 0.7	15.1 ± 0.1

(平均値 ± 標準誤差)

表 4 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの果実に及ぼす影響 (2009 年)

素材	栽植間隔 (cm)	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径(mm)		糖度 (度)
				縦径	横径	
夏実						
不織布	25	69 ± 4.9	43.7 ± 3.9	55.8 ± 2.6	51.4 ± 0.8	15.5 ± 0.1
不織布	50	74 ± 5.6	32.8 ± 7.6	56.6 ± 1.7	47.9 ± 2.5	14.3 ± 0.3
不織布	100	80 ± 6.3	38.7 ± 8.0	56.4 ± 2.2	49.6 ± 1.5	15.1 ± 0.2
ポリエチレン	50	64	29.2	60.6	49.4	14.8
冬実						
不織布	25	119 ± 4.8	51.2 ± 2.7	57.6 ± 0.7	48.5 ± 0.8	15.1 ± 0.1
不織布	50	127 ± 4.9	54.4 ± 5.2	57.6 ± 1.3	49.8 ± 1.4	15.1 ± 0.2
不織布	100	122	64.1	60.2	51.3	15.6
ポリエチレン	50	122 ± 2.8	41.3 ± 7.7	51.9 ± 2.7	45.6 ± 3.2	15.3 ± 0.3

(平均値 ± 標準誤差)

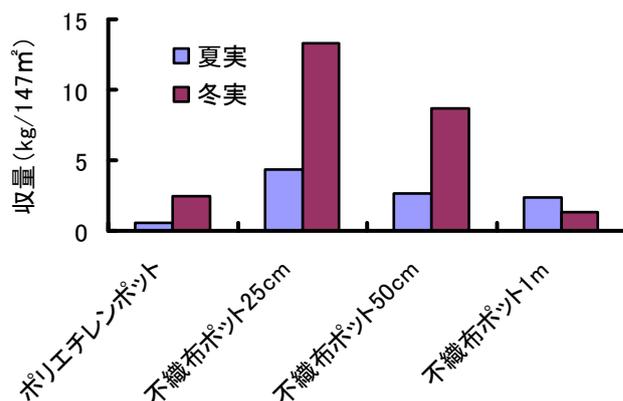


図 13. 定植ポットの素材並びに栽植間隔がパッションフルーツの収量性に及ぼす影響 (2009 年)

*147 m²、1 ライン 12m × 5 ラインで算出

2010 年についてもパッションフルーツのみを用いて、遮根する面の異なる不織布ポットを用いて、根域制限の度合の違いによる影響を調査した。また、加えて定植年数による影響も調査した。

新梢生長は、全面遮根型が最も生長した。しかし、定植後 2 年目の生長は 1 年目よりも悪い結果となった(表 5)。SPAD 値は遮根する面の違いでは変わりはない。しかし、定植後 2 年目では 1 年目よりも低く推移した(図 14)。冬実収穫後行なった生長量調査では、地下部で側面遮根型、底面遮根型で貫通根がみられ、中太根は側面遮根型が良く生長していた。地上部では全面遮根型、側面遮根型の間に差がなく、底面遮根型の生長が悪かった。また、地下部の生長が地上部と同様に、定植 2 年目で悪い結果となった(表 6)。葉一枚当りの葉面積は、全面遮根型が最も大きくなった。しかし、定植 2 年目は 1 年目よりも小さくなった(図 15)。

表 5 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの新梢生長に及ぼす影響 (2010 年)

	新梢長(cm)		新梢生長量* (cm)
	5月25日	1月12日	
全面遮根型	50.5 ± 6	629.1 ± 51	578.5 ± 51
側面遮根型	50.7 ± 6	599.5 ± 43	548.8 ± 40
底面遮根型	57.0 ± 5	564.5 ± 21	507.5 ± 22
全面遮根型2年目	37.5 ± 4	391.7 ± 65	354.1 ± 65

(平均値 ± 標準誤差)

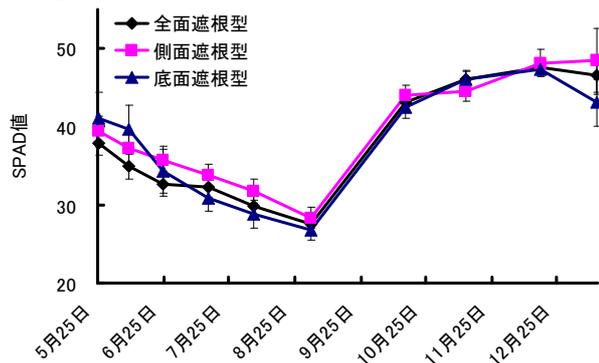
*新梢生長量 = 1月12日新梢長 - 5月25日新梢長の値とした。

表 6 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの生長量(乾物重)に及ぼす影響 (2010 年)

	地下部(gDw)			地上部(gDw)	
	貫通根	細根	中太根	葉	莖
全面遮根型	0.0 ± 0.0	3.7 ± 0.7	2.1 ± 0.2	46.4 ± 7.5	38.9 ± 5.6
側面遮根型	0.3 ± 0.2	4.9 ± 0.7	4.4 ± 1.8	37.8 ± 6.9	43.1 ± 5.0
底面遮根型	0.4 ± 0.1	4.2 ± 0.5	2.0 ± 0.6	32.8 ± 0.6	32.4 ± 0.9
全面遮根型2年目	0.1 ± 0.1	2.2 ± 0.5	0.9 ± 0.3	35.5 ± 3.2	37.2 ± 2.4

(平均値 ± 標準誤差)

○遮根面



○定植年数

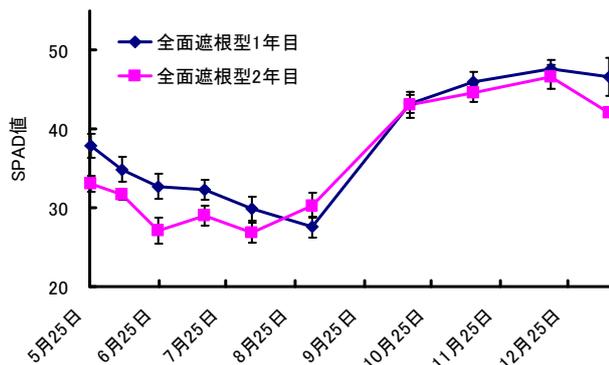


図 14. 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツ葉の SPAD 値に及ぼす影響 (2010 年)

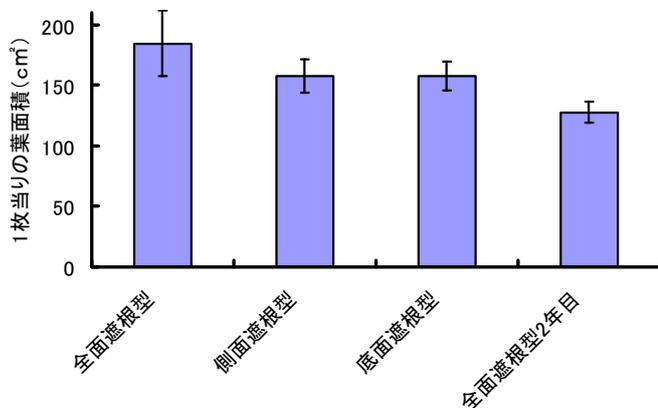


図 15. 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの葉面積に及ぼす影響 (2010 年)

遮根面が異なる不織布ポットごとで比較したところ、夏実では縦径で底面遮根型が最も良かったが、他の項目には差がみられなかった。冬実では全面遮根型、側面遮根型のすべての項目で差が無かった。しかし、底面遮根型では生育日数は 86 日と短期間であったものの、重量、果実径は小さく、糖度も 15.3 度と他の区よりも低くなった。定植年数で比べると、夏実および冬実ともに定植 2 年目で生育日数が長くなった。夏実ではいずれの項目でも、冬実では果

実重量および糖度で定植 1 年目のの方が良い結果を得られた (表 7)。

表 7 遮根面並びに定植年数がパッションフルーツの果実に及ぼす影響 (2010 年)

	受粉後日数 (日)	重量 (g)	果実径		糖度 (度)
			縦径(mm)	横径(mm)	
夏実					
全面遮根型	66.6 ± 2.5	44.8 ± 2.9	57.2 ± 0.4	51.3 ± 0.8	15.2 ± 0.5
側面遮根型	68.3 ± 2.3	44.1 ± 4.8	57.5 ± 1.1	49.7 ± 1.1	15.6 ± 0.3
底面遮根型	66.6 ± 0.9	46.0 ± 2.6	59.1 ± 0.9	51.3 ± 0.6	14.7 ± 0.6
全面遮根型2年目	75.1 ± 2.2	37.7 ± 3.8	54.9 ± 1.0	46.4 ± 1.0	14.7 ± 0.3
冬実					
全面遮根型	92.3 ± 3.0	98.5 ± 9.9	67.8 ± 3.1	59.3 ± 2.4	16.9 ± 0.5
側面遮根型	97.0 ± 3.0	96.4 ± 4.6	63.2 ± 1.8	60.4 ± 0.4	16.1 ± 1.1
底面遮根型	86.0	80.0	54.4	54.4	15.3
全面遮根型2年目	98.4 ± 2.0	65.4 ± 13.4	58.4 ± 1.0	58.4 ± 2.3	16.2 ± 0.2

(平均値 ± 標準誤差)

スターフルーツおよびマンゴーは、2009 年から作業性の向上のため、低段ベンチでコンテナを使用した養液土耕栽培を実施した。温室内では花粉媒介虫の飛翔が少なく、受粉が難しい。そこで振動受粉機や筆を用いて受粉を行った。スターフルーツは低段ベンチへの移動時に、茎葉を傷めたことから、開花が遅れ、果実着果が認められなかった。しかし、マンゴーは果実着果が少なかったものの収穫することが出来た (図 16)。

2010 年のスターフルーツは、9 月中旬から開花が始まり、振動受粉機を用いて受粉を行った結果、1 月下旬から果実の着果は少ないものの、収穫することが出来た (図 17)。マンゴーは振動受粉機や筆又は手作業で受粉を行ったが開花時期が 2011 年 3 月であったことから、停電や低温等のため、受粉が上手くいかなかった (図 18)。しかし、前年度同様、果実着果が少なかったものの収穫することが出来た。



図 16. 収穫時のマンゴー (2010 年 9 月 7 日)



図 17. 収穫時のスターフルーツ (2011 年 3 月 3 日)



2011 年 3 月時点での
生育状況

マンゴーの蕾



図 18. マンゴーの 3 月時点の生育状況
(2011 年 3 月 3 日)

4. 考察

最初にまず、加温ハウス下での養液栽培システムを利用し、熱帯果樹の樹体生長並びに着果から果実生産の可能性について検討を行った。いずれの熱帯果樹も初期生育から良好な生育経過を示した。パッションフルーツは 8 月上旬～ 9 月下旬 (夏実)、1 月上旬～ 2 月下旬 (冬実) の年 2 回収穫が可能であり、収穫量や品質の面からも加温ハウス下での養液土耕栽培に向くと考えられた。また、受粉が難しく果実着果が少ないものの、スターフルーツが 1 月下旬～ 3 月上旬、マンゴーについても 8 月中下旬に収穫が可能であったことから、受粉方法を改善すればこれらの果実の栽培も可能と考えられた。

パッションフルーツに重点をおいて、定植ポットの素材並びに栽植間隔の違いによる影響を調査するため栽培試験を実施した。果実品質や収量性から実用性について検討を行った結果、ポット材質ではポリエチレンポットよりも、不織布ポットが良く、栽植間隔は 25 cm が最も良いと考えられた。不織布ポ

ットの異なる面を遮根することで、根域制限の強さを変えてみたところ、側面遮根型および底面遮根型の不織布ポットは、ポット外に貫通根がみられ、それに伴い地下部が発達していた。それに対して、より根域制限の度合いが強い全面遮根型の不織布ポットでは、地下部より地上部の発達が優先され、そのため高い生産効率につながったと考えられた。新梢長等の樹体の生長量や果実の品質面が定植 2 年目で良い結果が得られなかったことから、1 年ごとに植え替える方法が有効であると考えられた。しかし、2010 年の試験では定植 2 年目の整枝・剪定時期が 4 月後半と遅れたことが、新梢生長に影響を及ぼし、その結果、新梢や果実等の生育成長で良い結果が得られなかった可能性も考えられた。花芽分化が開始する 2 月中には整枝・剪定を済ませ、新梢生長の促進を図り、葉面積の広い葉を確保することで、果実を確保できるかもしれない。そのため、定植年数については、今後も検討を続けたい。

いずれの熱帯果樹類も定植後の苗木の初期生育が良好であることから、他の温帯性果樹類の大苗生産などにも利用が広げられる可能性もあり、今回用いた栽培技術が応用できると考えられた。

5. 謝辞

本試験を遂行するに際して、筑波大学生命環境系・弦間 洋教授、菅谷純子准教授、筑波大学農林技術センター技術室技術職員・伊藤睦氏、吉田勝弘氏、松岡瑞樹氏、2011 年 3 月に卒業した筑波大学生物資源学類・中根真理さんにご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。