マンゴー ‘愛紅’ における隔年交互結実栽培の有効性

志水恒介¹・巽 賢太郎²・宇都宮直樹¹・神崎真哉^{2*}・伊藤仁久¹・重岡 成¹

¹ 近畿大学附属農場 643-0004 和歌山県湯浅町湯浅 2355-2

² 近畿大学大学院農学研究科 631-8505 奈良市中町 3327-204

The Applicability of Intentional Alternate Bearing Method in Mango ‘Aiko’

Kosuke Shimizu¹, Kentaro Tatsumi², Naoki Utsunomiya¹, Shinya Kanzaki^{2*},
Kimihiisa Itoh¹ and Shigeru Shigeoka¹

¹ Experimental Farm, Kindai University, Yuasa-cho, Wakayama 643-0004

² Graduate School of Agriculture, Kindai University, Nakamachi, Nara 631-8505

Abstract

Mango ‘Aiko’ is a large-fruited and medium-late cultivar that has a stronger biennial-bearing nature than ‘Irwin’. In this study, we applied the intentional alternate bearing method, which has been practiced in citrus cultivation, to mango ‘Aiko’ and examined its applicability. Two treatments, alternate branch unit bearing and whole-tree annual bearing, were set up and compared with the control of the conventional method. Although there was no significant difference in the proportion of reproductive shoots between the control and two treatments, the proportion of reproductive shoots on ON-trees or ON-branches was consistently high. No significant difference was observed in yield between the control and treatments, while the mean fruit weight was significantly lower in both treatments compared with control fruits. The percentage of small fruits was higher in both treatments. With respect to work efficiency, it was shown that both alternate bearing methods could reduce the time required to prune a tree. On the other hand, the expression level of the *MiFT* gene was shown to be related to the biennial-bearing nature of ‘Aiko’, suggesting that it could be used to predict the number of flowers in the following season. Our results show that the intentional alternate bearing method for mango ‘Aiko’ is an effective method to control the fluctuation of yield and reduce labor while maintaining the same level of fruit quality and yield as the conventional method.

Key Words : alternate bearing, *FLOWERING LOCUS T*, labor saving cultivation, *Mangifera indica* L., yield

キーワード : *FLOWERING LOCUS T*, 隔年結果, *Mangifera indica* L., 省力化, 収量

緒 言

国内のマンゴー (*Mangifera indica* L.) 栽培は1970年代から沖縄県で始まり、1990年以降、九州南部から四国、本州に広まっていき、2000年代には北海道でも生産されるようになっていく(米本, 2008)。特定果樹生産動態等調査によれば、1989年の国産マンゴーの栽培面積と出荷量はそれぞれ103 haと176 tであったが、2011年には栽培面積は454 haに、出荷量は3252 tに達した(農林水産省, 2020)。その後は、栽培面積、出荷量ともに横ばいの状況である。我が国におけるマンゴー栽培の特徴として、沖縄県の無加温栽培では収穫期が6～8月であり、これを基準とすると他地域では早期加温による促成栽培が行われている。特に、宮崎県を中心に促成栽培が普及・定着したことにより、主要品種である‘アーウィン’の収穫期は3月下

旬～8月下旬に拡大している。晩生品種の‘キーツ’や北海道における‘アーウィン’の冬収穫の作型も含めると秋から冬季にも国産マンゴーは流通するが、流通量は非常に少ない。近畿大学で育成された‘愛紅’(佐々木ら, 2008)は、‘アーウィン’と比べて収穫時期が2週間から1か月遅く、近畿大学附属農場(和歌山県湯浅町)では8月下旬～9月下旬に収穫する作型で栽培されており、国産マンゴーの出荷が減少する時期に出荷可能な用品種として位置づけられている。しかしながら、‘愛紅’は収穫期が遅いため、収穫後の秋季にせん定を行うと、翌年の結果母枝となる新梢の発育が十分に進まないうちに低温期を迎えることになり、結実枝において翌年の花穂発生率が低下し隔年結果しやすいことが報告されている(文室, 2011; 志水ら, 印刷中)。

隔年結果性が強いウンシュウミカンでは、安定した収穫量の確保を可能とする結実管理法として、樹別あるいは主枝を着果主枝と遊休枝に分ける交互結実栽培法が実用化されている(宮田ら, 2002)。この栽培方法の特徴は、結実させない遊休樹と無摘果もしくは着果負荷の大きい生産樹を

2020年5月24日 受付。2020年6月23日 受理。
本報告の一部は園芸学会平成30年度秋季大会で発表した。
* Corresponding author. E-mail: skanz@nara.kindai.ac.jp

園内で半数ずつ設定し、樹ごとに遊休年と生産年を交互に繰り返させることにより隔年結果によって生じる収量の不安定性を解消し、毎年安定した収量を確保する点にある。

マンゴー‘愛紅’では、前述のとおり結実枝において翌年の花穂発生率が低下することが示されているが、一方で、不結実枝では安定して花穂発生がみられる(志水ら、印刷中)。従って、生産と遊休を交互に繰り返す交互結実栽培法は‘愛紅’の生産安定化に有効であると見込まれる。また、収量だけでなく作業性も考慮すると、1枝に1果をつける従来の栽培方法では摘果やせん定作業に時間がかかるうえに専門的な技術や経験が必要であるのに対し、交互結実栽培法は規格に沿って摘果やせん定を行うため作業の省力化にも有効であるとされている(瀧下ら、2010)。

Davenport (2007)によるとマンゴーの花成は花成誘導因子(florigenic promoter: FP)と栄養成長因子(vegetative promoter: VP)のバランスによって制御されており、Nakagawaら(2012)は‘アーウィン’から単離したシロイヌナズナのFLOWERING LOCUS T (FT) 遺伝子のオースログであるMiFTが、マンゴーのFPであることを示唆している。MiFTの葉における発現量は低温によって増加し、ジベレリン処理によって抑制されるなど、その発現様式は花穂発生率と関係が強い(Nakagawaら、2012)。また、前シーズンに着果負荷の高かった樹では全摘果した樹と比べて冬季のMiFTの発現量が低くなり翌年の花穂数も低下することを示し、着果負荷によるMiFT発現量の減少が隔年結果の原因であるとしている(Nakagawaら、2012)。ウンシュウミカンにおいても、秋冬季における発育枝のCiFT発現量は葉面積当たり収量と負の相関が、翌年の開花数とは正の相関があることが報告されている(Nishikawaら、2012)。同様に、FT遺伝子の発現量と翌年の着花数との関連を示す研究はアボカド(Zivら、2014)やオリーブ(Habermanら、2017)といった常緑果樹でも報告されている。従って、交互結実栽培法のように着果量に極端な差をつけた樹間あるいは枝間ではMiFTの発現量に差が見られると考えられるが、これまでマンゴーにおいて交互結実栽培とMiFT発現量および花穂発生率の関係を調査した研究はない。

本研究では、マンゴー‘愛紅’を国産マンゴーの流通量が減少する晩夏～秋に収穫する作型で栽培するにあたって、隔年結果対策として交互結実栽培法の適用可能性を検討した。まず、‘愛紅’に樹内および樹別交互結実栽培法を適用し、果実収量や樹体の生育に及ぼす影響を調査するとともに、剪定に要する作業時間を評価した。さらに、交互結実栽培法における花成関連遺伝子の発現の挙動を調査した。

材料および方法

1. 植物材料および栽培管理

近畿大学附属農場(和歌山県有田郡湯浅町)のフィルム

ハウス(間口9m、奥行き54m、二連棟、カネコ種苗(株))に定植された接ぎ木6年生‘愛紅’を30樹実験に供試した。台木には台湾在来種実生を用いた。ハウス管理は、以下に示した設定により、3年間を通じてほぼ同様の方法で行った。秋冬季の最低気温は11月下旬から2月下旬まで6℃とし、それ以降は1週間ごとに1℃上昇させ、開花初期の4月上旬には20℃とし、満開期の4月下旬には25℃になるよう設定した。最高気温については、35℃以下となるように管理した。

2. 交互結実処理

主枝別交互結実栽培区(ABB: alternate branch unit bearing)、樹別交互結実栽培区(WAB: whole tree alternate bearing)および通常の栽培管理を行う慣行区(Cont.: Control)の3処理区を設定した。ABBとして10樹を用い、2016年生理落果期終了後の6月にそれぞれ偶数本主枝仕立てにし生産枝(ON-branch)と遊休枝(OFF-branch)を同一樹内に半数ずつに設定し、ON-branchは果実同士が接触しない様に1花穂につき1～3個程度に摘果し、OFF-branchはすべての果実を摘果した。次年度は、2016年のOFF-branchに果実を着生させ、前年ON-branchだった主枝をOFF-branchとした。2018年、2019年もON-branchとOFF-branchを入れ替え同様の処理を行った。また葉果比については調整を行わなかった。WABは、果実同士が接触しない程度に摘果する生産樹(ON-tree)と全果実を摘果する遊休樹(OFF-tree)を各5樹ずつ設け、次年度はON-treeとOFF-treeを交代した。2018年、2019年に継続して同様の処理を行った。また葉果比については調整を行わなかった。対照区として、1花穂に対し1果となるように摘果する(葉果比40程度)通常の栽培管理を行う慣行区(Cont.)を10樹設定した(第1表)。

3. 花穂発生率

各樹におけるすべての枝における花穂発生を2017年、2018年および2019年の5月に目視にて調査した。得られたデータは各樹ごとに花穂発生率(%)=花穂発生枝数÷全枝数×100として算出した。ABBについてはON-branchとOFF-branchそれぞれの花穂発生率も算出した。

4. 果実収量、品質調査および隔年結果の強さ

各年・各樹の果実は、8月上旬から9月下旬にかけて、成熟して果頂部の一部に果皮色の変化が認められた果実を収穫し、1樹当たりの個数、果実重を測定し、階級別に分け総重量を調査した後、非破壊糖度計(K-SS300、(株)クボタ)を用いて全果実の糖度を測定した。糖度は果実の赤道部を2か所測定し、各果実の平均値を算出した。隔年結果の強さは、Hoblyn-I (Hoblynら、1936)の計算式 $\Sigma_{i=2}^n \{ |X_i - X_{i-1}| / (X_i + X_{i-1}) \} / (n-1)$ (X_i は*i*年目の収量、*n*は処理年数を指す)を使って指数化して表した。果実重別に階級分けした果実の果実数に関しては、3年間の累積果数と各年次の果数について分割表を作成し χ^2 検定による適合度の検定を行うとともに、実測値の理論値からのずれ(偏

Table 1. The setup of the intentional alternate bearing treatment in this study.

Bearing Method ²	Number of trees	Unit group	Year		
			2017	2018	2019
ABB	10	A	ON-branch	OFF-branch	ON-branch
		B	OFF-branch	ON-branch	OFF-branch
WAB	5	A	ON-tree	OFF-tree	ON-tree
	5	B	OFF-tree	ON-tree	OFF-tree
Control	10		—	—	—

² ABB: alternate branch unit bearing, WAB: whole-tree alternate bearing

差)を比較して各処理区の階級ごとの果数の違いを評価した。また、平均果実重と糖度に関しては、処理、処理内樹間、樹内果実間を要因とする枝分れ配置(奥野・芳賀, 1983)の分散分析を行い、制約付LSDによる多重比較(鶴飼, 2010)を行った。

5. せん定作業時間

いずれの処理区においても、せん定は収穫終了後の10月下旬に行った。ABBはすべてのON-branchにおいて最も株元に近い節まで切戻しせん定を行い、OFF-branchはせん定を行わなかった。WABではON-treeのすべての枝を最も株元に近い節まで切戻しせん定を行い、OFF-treeにはせん定を行わなかった。Cont.は結実枝と立ち枝を切戻しせん定した。作業は熟練した作業員1名で行い1樹ごとにせん定にかかる作業時間を計測した。せん定作業の順序は、ABB, WAB, Cont.の順に行った。得られた樹ごとのせん定時間について、処理と年次を要因とする分散分析を行い、Tukey HSDによって処理間差の多重比較を行った。なお、WABにおいてはOFF-treeは無せん定となるので、分散分析はせん定を行った5樹の値を用いた。

6. *MiFT*遺伝子の発現調査

2016年9月, 12月, 2017年1月, 2月に各処理区におけるそれぞれの樹から直径1cmのリーフディスクを10枚採取し、RNA抽出用のサンプルとした。リーフディスクは、5mLのRNAlater-like buffer (De Witら, 2012)中に4°Cで一晩浸漬した後、−20°Cの冷凍庫で冷凍保存した。Total RNAは、リーフディスクを液体窒素中で乳鉢を用いて粉碎した後、NucleoSpin RNA Plant (マッハライ・ナーゲル社)を用いて抽出した。

2年目の実験ではCont., ON-tree, OFF-treeは前年と同様に、ABBではON-branchとOFF-branchから別々にサンプリングした。2017年9月, 12月, 2018年1月, 2月の4回サンプリングを行い、同様にtotal RNAを抽出した。抽出したRNAはTURBO DNA-free Kit (サーモフィッシャーサイエンティフィック(株))を用いてゲノムDNAを除去した後、1μgのRNAからPrimeScript RT reagent Kit (タカラバイオ(株))を用いてcDNAを合成した。*MiFT*遺伝子の発現解析はTB Green Premix Ex Taq II (タカラバイオ(株))を用いたインターカレーター法によるリアルタイムPCR

法により行った。合成したcDNA 1μLを鋳型とし、TB Green Premix Ex Taq II 10μL, プライマー(10μM)各0.8μL, ROX reference Dye 0.4μL, 滅菌水7μLを混合した20μLの反応液を調整し、ABI PRISM 7300 Real Time PCR system (サーモフィッシャーサイエンティフィック(株))によるリアルタイムPCRを行った。*MiFT*遺伝子の発現量は*Elongation factor*遺伝子(*MiEF*遺伝子)に対する相対発現量として求めた。*MiFT*および*MiEF*遺伝子の検出用プライマーはNakagawaら(2012)のプライマーを用いた。

7. データ解析

データ解析にはR (R Development Core Team, 2019, ver 3.6.1; <http://www.r-project.org>)を使用した。なおせん定時間においてType III平方和を求める分散分析はcarパッケージを用い、optionを(constant=c (“contr.sum”, “contr.sum”))として解析した。

結 果

1. 花穂発生率

各処理区における花穂発生率は、ABBでは前年から成長したON-branchのほとんどが花穂となり、前年に着果負担の大きかったOFF-branchでは花穂がほとんど発生しなかった(第2表)。樹の半分を生産部位と残りの半分を遊休部位として役割を明確にしているため花穂発生率は53.9%~60.4%となった。また、WABのON-treeでは、新梢が成長した枝の98%以上で花穂が発生したのに対し、前年に着果負担の高かったOFF-treeでは、花穂形成がほとんど見られなかった。一方、Cont.では42.0%~70.7%と年次による変動が大きかった。

2. 果実収量、品質調査および隔年結果の強さ

収穫果実数は、いずれの処理区でも2019年で増加しておりCont.においても隔年結果性は見られなかった(第3表)。平均果実重は、2017年と2019年にはCont.が両交互結実栽培区に対し有意に重くなり、2018年では、Cont.とABBに対しWABで有意に軽くなった。糖度に関しては、年ごとに比較した場合、処理区間に有意な差はみられなかった。隔年結果指数は、WABではOFF-treeを全摘果したために1.0となったが、ABBとCont.の間に有意な差はみられなかった(第4表)。

Table 2. Differences in the proportion of reproductive shoots (%) among the treatments.

Bearing Method	Year	Proportion of reproductive shoot (%)		
		A ^z	B ^z	Mean ^y
ABB	2017	84.6	18.2	60.4 ± 4.7 ^x
	2018	15.9	83.7	53.9 ± 5.0
	2019	97.9	7.0	55.3 ± 5.0
WAB	2017	98.7	23.0	60.9 ± 13.1
	2018	0.0	98.1	49.1 ± 16.4
	2019	98.8	3.3	51.0 ± 15.9
Control	2017	—	—	48.5 ± 5.9
	2018	—	—	70.7 ± 6.6
	2019	—	—	42.0 ± 8.3

^z Unit group shown in Table 1.^y Mean ± S.E. (n = 10)^x Mean value for ABB was calculated as an average of the proportion in each individual tree.**Table 3.** Effect of the bearing method on the number of fruits, fruit weight, and Brix.

	Bearing method ^z	Number of fruits	Fruit weight (g)	Brix (°)
2017	ABB	264	560.2 a ^y	17.0
	WAB	224	532.6 a	16.6
	Cont.	166	634.8 b	17.2
	ANOVA ^x	NS	**	NS
2018	ABB	246	560.1 b	16.5
	WAB	249	486.3 a	16.0
	Cont.	257	601.0 b	16.7
	ANOVA	NS	**	NS
2019	ABB	424	573.2 a	16.0
	WAB	351	554.4 a	15.7
	Cont.	272	673.4 b	16.1
	ANOVA	NS	**	NS

^z Same as in Table 1.^y Means labeled with different letters are significantly different (Tukey's test) in each experimental year.^x **: significant at P < 0.01, NS: non-significant. **Fig. 1.** Cumulative yield for three experimental years in each treatment.

3年間の累積収量は一樹ごとの平均値では処理間で有意な差が認められなかった（データ省略）。また、いずれの処理区においても2019年の収量が多い傾向があった（第1図）。供試した10樹を合計した3年間の累積収量は、ABBで530 kg, WABで435 kg, Cont.では442 kgとなった。

重量別に階級分けした収穫果数の頻度は、3年間の累積果数、各年の収穫果数においても χ^2 検定で有意になり、処理によって重量階級の頻度分布が異なっていることが明らかになった（第2図）。理論値からのずれを各処理区の階級ごとに比較すると、WABでは500 g以下の果実が理論値より多く、601 g以上の果実が少なくなった。一方、Cont.においては701 g以上の果実が理論値より多く、500 g以下の果実数が少なくなった。ABBはその中間の頻度分布を示した。

3. 作業効率

収穫後のせん定作業時間は、ABBにおいて、作業時間がCont.とWABに比べ有意に短かった（第5表）。1樹当たりの3年間平均作業時間はABBでは99秒（1.7分）だったのに対し、Cont.では191秒（3.2分）となり半分近い作業時間の短縮効果がみられた。WABは162秒（2.7分）で

Table 4. Differences in the mean yield per tree and alternate bearing index (ABI) among the treatments.

Bearing method ^z	Number of tree	Yield/tree (kg)			ABI ^y
		2017	2018	2019	
ABB	10	14.8 ± 1.3	13.9 ± 1.2	24.3 ± 1.8	0.23 a ^x
WAB-A	5	23.9 ± 1.2	0.0	38.9 ± 2.8	1.0 b
WAB-B	5	0.0	24.3 ± 2.7	0.0	
Cont.	10	10.5 ± 1.4	15.4 ± 1.2	18.3 ± 2.7	0.26 a

^z WAB-A(ON-OFF-ON), WAB-B(OFF-ON-OFF). Same as in Table 1.^y $ABI = \sum_{i=2}^n \{ |X_i - X_{i-1}| / (X_i + X_{i-1}) \} / (n - 1)$ ^x Means labeled with different letters are significantly different by Tukey's test at P < 0.05 (n = 10).

Fig. 2. Proportion of the number of fruits in each fruit size grade. See Table 1 for each treatment. Chi-squared test was performed to evaluate the difference of the distribution of fruit size. **: significant at $P < 0.01$.

Table 5. Effect of the bearing method on time to prune a tree. The numbers represent the three-year mean of the time taken to prune a tree in each treatment.

Bearing Method ^z	Time (sec)
ABB	99.6 b ^x
WAB	162.1 a
Control	191.9 a
ANOVA ^y	
Treatment (T)	**
Year (Y)	**
T × Y	NS

^z Same as in Table 1.

^y **: significant at $P < 0.01$, NS: non-significant.

^x Means labeled with different letters are significantly different by Tukey's test.

あり、1樹当たりのせん定時間ではCont.との間に有意な差は見られなかったが、WABではOFF-treeは無剪定となるため、ON-treeとOFF-treeを合わせた面積当たりのせん定時間はCont.よりかなり短縮されると見積もられた。

4. MiFT遺伝子の発現調査

2016～17年のWABにおけるON-treeでは低温遭遇後にMiFTの発現量が著しく増加し、1月に最大となりその後2月にかけて減少した(第3図a)。Cont.およびABBでも1月にかけてMiFT発現量の増加は見られたが、その量はWABのON-treeと比較すると低い値を示した。また、WABのOFF-treeではMiFT発現量は増加せず低いまま推移した。2017～18年には、ABBのON-branch、WABのON-treeおよびCont.において前年より早い12月にMiFT発現量の増加がみられた(第3図b)。Cont.では前年度より大幅に高い発現量を示した。この年にはABBのON-branchとOFF-branchを別々にサンプリングして解析したが、ON-branchのMiFT発現量はCont.と比べて低いものの12月から1月にかけて増加していた。一方、ABBのOFF-branchとWABのOFF-treeでは発現の増加はみられなかった。以上の結果より、‘愛紅’においてCont.のMiFT発現量は年度によって変動すること、また、WABのON-treeでは発現量が高く、OFF-treeでは発現の増加が見られないことが示された。さらにABBでは主枝ごとにMiFT発現量が制御されていることが示唆された。

考 察

ウンシュウミカンの隔年結果性については、その原因の解析や防止技術の開発が古くから進められており、多くの成果が報告されている(木原・小中原, 2000; 大垣, 1963; 大垣ら, 1968)。一方、マンゴーにおいては、国内の主要品種である‘アーウィン’が隔年結果性の弱い品種であり(Dambreville, 2014)、日本の作型に適していたことから、これまで隔年結果性が大きな問題になることはなかった。

Fig. 3. Seasonal change in the expression level of MiFT in mango leaves. a: 2016–17 season. b: 2017–18 season. In 2017–18 season, samples from each unit group (A and B) of ABB trees were separately collected, while both of the units were mixed in 2016–17 season. The relative gene expression levels were analyzed by SYBR-Green real-time quantitative PCR and normalized against the expression level of *MiEF*. Data are expressed as means $\pm$ SE ($n = 5$ or 10).

しかし、海外では隔年結果性の強い品種も栽培されており、その対策も検討されている (Chacko ら, 1982; Singh ら, 2007). ウンシュウミカンの隔年交互結実栽培法は隔年結果性が強く、さらに、着果量が少なく果実が大きくなりすぎる‘青島温州’など晩生のウンシュウミカンを中心に適用されている (宮田・橋本, 2002; 高橋ら, 2004). このような品種では、隔年交互結実栽培法により毎年安定した収量が得られると同時に、せん定作業や摘果作業が省力化され、商品性が高いサイズの果実生産が可能となる (瀧下ら, 2010). 本研究に用いたマンゴー‘愛紅’は‘アーウィン’と比べて隔年結果性が強く (文室, 2011; 志水ら, 印刷中), 大果であり 700 g 以上になる果実も多く収穫される. 大きな果実は高値で取引されるが、大きすぎる果実では追熟が不均一になり商品性は低下する. このような特徴を持つ‘愛紅’において、商品価値の高い適切な大きさの果実を安定的に生産するために隔年交互結実栽培法が有効であると考え、本研究を実施した.

ウンシュウミカンにおける交互結実栽培法では、遊休年に発生した新梢を翌年まで維持することで、多くの光合成産物が生産され、根や幹枝に蓄えられることにより着花が多くなると考えられている (奥田ら, 2002). マンゴー‘アーウィン’においても樹体の貯蔵デンプン量が *MiFT* 発現量および花穂発生率に影響することが報告されている (Nakagawa ら, 2012). 本研究において、花穂発生率は *Cont.* で年次による変動が大きかったのに対し、両交互結実栽培区では処理区全体の花穂発生率は *Cont.* と有意な差はみられなかったが、ON-branch および ON-tree の花穂発生率は安定して高く、ほぼすべての枝から花穂が発生した (第 2 表). ウンシュウミカンにおいて、交互結実栽培法を行ううえでは樹勢を強く維持することが重要であり、切り戻しせん定を行っても新梢発生が望めないような樹勢低下樹には導入すべきでないとされている (中川ら, 2003). ‘愛紅’は‘アーウィン’に比べ樹勢が強く、生産年に強い着果負荷をかけた後に切り戻しせん定を行っても、翌年 (遊休年) には新梢が安定して発生し、またその新梢における花穂発生率も安定して高かったことから、交互結実栽培法に適した品種であることが示された.

Cont. における花穂発生率から 2017 年と 2019 年が裏年、2018 年が表年であったと推測されるが、*Cont.* の収量および収穫果実数は 3 年間増加傾向にあり明確な隔年結果を示さなかった (第 3 表). これは、若い樹を実験に供試したため、樹冠容積の拡大に伴う収量の増加が表年から裏年への収量減を上回ったことが原因であると考えられた. 3 年間の収量の合計は ABB で最も多くなり、WAB は *Cont.* と変わらなかったことから、若い樹に対し交互結実栽培法を行うことで、*Cont.* と同程度かそれ以上の収量の増加が見込めると示唆された. 今後も継続して調査し、成木化した後の交互結実栽培法の有効性について検討する予定である.

果樹では一般に、同程度の着葉数であれば結実数が多いほど果実は小さくなることが知られている. ウンシュウミカンの交互結実栽培法においても、1 樹当たり果実数が *Cont.* と比べて有意に多い WAB では平均果実重が軽くなったのに対し、*Cont.* と有意差がなかった ABB では平均果実重が *Cont.* よりやや軽くなったものの有意な差異は認められなかった (宮田・橋本, 2002). 本研究においても同様に、1 樹当たり果実数が多い WAB では平均果実重が軽くなり、小さい果実の割合が高くなった. 収益性を考えると 600~700 g 程度の果実を多く生産することが望ましく、この点は *Cont.* の方が有利といえるが、交互結実栽培法においても適切な着果量に調整することでサイズの大きい果実を増やすことが可能であると考えられる. 収益性を最大化するための適切な着果量は今後検討する必要がある.

本研究において、ABB では *Cont.* に比べ有意に作業時間が短縮された. また、WAB でも 1 樹当たりの作業時間は *Cont.* と有意差は見られなかったものの、OFF-tree ではせん定が不要となるため全体の作業時間は短縮することができる. また、交互結実栽培法では、規格に沿ってせん定を行うため初心者でも簡単に行うことができることから、ウンシュウミカンと同様にマンゴーにおいても作業の省力化に有効であると考えられた. 本研究では、せん定時間のみの調査であったが、摘果や収穫などに要する作業時間を調査することで、交互結実栽培における作業全般の効率性を明確にする必要があると思われる.

いくつかのカンキツ類では、着果量によって *CiFT* 遺伝子の発現量が変化すること、すなわち着果量が多いと秋冬季的 *CiFT* の発現が抑制され翌年の開花が少なくなることが報告されている (Muñoz-Fambuenza ら, 2011; Nishikawa ら, 2012; Shalom ら, 2012). マンゴー‘アーウィン’においても着果負荷により *MiFT* の発現が抑制されることが示されており (Nakagawa ら, 2012), 本研究において‘愛紅’でも同様の結果が得られた. このような着果負荷による *FT* 遺伝子の発現抑制のメカニズムは明らかになっていないが、隔年結果の発生機作を知るうえで重要な鍵になると考えられ、今後の研究が期待される. *Cont.* の *MiFT* 発現量が 1 年目と 2 年目で大きく異なっていたが、これは前述したように *Cont.* では 2017 年が裏年に、2018 年が表年にあたると考えられることから、*MiFT* 発現量は隔年結果性に関連して変動すると考えられた. このことは、ウンシュウミカンで報告されているような *FT* 遺伝子の発現量に基づく翌シーズンの開花数予測 (Nishikawa ら, 2017) がマンゴーにおいても可能であることを示唆しているが、そのような予測を行うためには品種間差異や低温遭遇時間と *MiFT* 発現増加時期の関係などを詳細に検討する必要がある. また、ABB について、1 年目には ON-branch と OFF-branch を区別せずにサンプリングしたために枝間の *MiFT* 発現量が平均化されたと考えられるが、2 年目には ON-branch と OFF-branch を別々にサンプリングすることで枝

間の発現量の差異を明確にすることができた。マンゴーの花成に関する Davenport (2007) の仮説では VP の増加が FP (= *MiFT*) を抑制するとしているが、ON-branch と OFF-branch で *MiFT* 発現量が異なることから VP/FP バランスは枝ごとに制御されている可能性が示された。これまでの研究から *MiFT* が FP として機能していることはほぼ間違いないと考えられるが、一方で VP の実体については不明な点が多い。交互結実栽培法により VP/FP バランスを極端に設定した樹を用いて発現遺伝子の網羅的解析を行うことにより VP や FP の制御因子などに関する情報が得られると期待される。

国産マンゴーの栽培面積は 2011 年の 454.0 ha をピークに徐々に減少している（農林水産省, 2020）。今後の様々な消費者ニーズに応えるために‘愛紅’のような新品種や海外からの品種導入などによる栽培品種の多様化が望まれている（米本・樋口, 2003）。特に秋冬季に収穫可能な作型は市場拡大に有効であると考えられる。晩生品種を秋冬季に収穫する作型で栽培すると隔年結果のリスクが高まり、収量の安定化が課題となる。本研究の結果から‘愛紅’のような隔年結果性と大果性をあわせもつ品種の連年生産技術としては、従来の栽培法と比べ ABB は同程度の品質、収量を確保したまま、せん定時間の短縮による省力化につながる有効な栽培法となる可能性が示された。今後、この栽培法を成木に対して長期間適用した場合の樹体への影響を調査することで、その実用性をさらに検証する必要がある。

摘 要

マンゴー‘愛紅’は‘アーウィン’と比べて隔年結果性が強く、大果性の晩生品種である。本研究では、カンキツの栽培に適用されている隔年交互結実栽培法をマンゴー‘愛紅’に応用し、その有効性を検討した。交互結実処理には主枝別交互結実区と樹別交互結実区の 2 処理区を設け、慣行法の対照区と比較した。花穂発生率に対照区と処理区間で有意な差はみられなかったが、ON-branch および ON-tree の花穂発生率は安定して高く、ほぼすべての枝から花穂が発生した。両交互結実処理区の収量は対照区と有意差がなかったが、平均果実重は対照区より軽くなり、小玉果の割合が高くなった。作業効率に関し、両交互結実処理区ではせん定時間が短縮され省力化が可能であることが示唆された。一方、*MiFT* 遺伝子の発現量は‘愛紅’の隔年結果性に関連があることが示され、開花数の予測に利用可能であることが示唆された。マンゴー‘愛紅’において、隔年交互結実栽培は慣行法と同程度の果実品質と収量を維持しながら、生産量の変動制御と省力化を可能にする有効な方法であると考えられた。

謝 辞 本論文をまとめるにあたり、近畿大学附属農場佐藤明彦教授に統計解析についてのご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Chacko, E. K., Y. T. N. Reddy and T. V. Ananthanarayanan. 1982. Studies on the relationship between leaf number and area and fruit development in mango (*Mangifera indica* L.). J. Hort. Sci. 57: 483–492.
- Dambreville, A., F. Normand and P.-E. Lauri. 2014. Alternating patterns of mango quantification at the growth unit level on four cultivars. Acta Hort. 1058: 277–283.
- Davenport, T. L. 2007. Reproductive physiology of mango. Braz. J. Plant Physiol. 19: 363–376.
- De Wit, P., M. H. Pespeni, J. T. Ladner, D. J. Barshis, F. Seneca, H. Jaris, N. O. Therkildsen, M. Morikawa and S. R. Palumbi. 2012. The simple fool’s guide to population genomics via RNA-Seq: an introduction to high-throughput sequencing data analysis. Mol. Ecol. Resour. 12: 1058–1067.
- 文室政彦. 2011. ポット栽培におけるマンゴー‘愛紅’の収量および果実品質に及ぼす葉果比の影響. 園学研. 10: 383–388.
- Haberman, A., O. Bakhshian, S. Cerezo-Medina, J. Paltiel, C. Adler, G. Ben-Ari, J. A. Mercado, F. Pliego-Alfaro, S. Lavee and A. Samach. 2017. A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. Plant Cell Environ. 40: 1263–1280.
- Hoblyn, T. N., N. H. Grubb, A. C. Painter and B. L. Wates. 1936. Studies in biennial bearing-1. J. Pom. Hort. Sci. 14: 39–76.
- 木原武士・小中原実. 2000. ウンシュウミカンにおける隔年結果の現状と対策. 果樹試報. 34: 111–136.
- 宮田明義・橋本和光. 2002. 交互結実法が‘青島温州’若齡樹の生育、収量および果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 71: 789–795.
- Muñoz-Fambuena, N., C. Mesejo, M. C. González-Mas, E. Primo-Millo, M. Agustí and D. J. Iglesias. 2011. Fruit regulates seasonal expression of flowering genes in alternate bearing ‘Moncada’ mandarin. Ann. Bot. 108: 511–519.
- 中川雅之・本田康弘・薬師寺弘倫・脇 義富. 2003. ウンシュウミカンの隔年交互結実法に関する研究. 愛媛果樹試験報. 16: 17–31.
- Nakagawa, M., C. Honsho, S. Kanzaki, K. Shimizu and N. Utsunomiya. 2012. Isolation and expression analysis of *FLOWERING LOCUS T*-like and gibberellin metabolism genes in biennial-bearing mango trees. Sci. Hortic. 139: 108–117.
- Nishikawa, F., M. Iwasaki, H. Fukamachi and T. Endo. 2012. Leaf removal suppresses citrus *FLOWERING LOCUS T* expression in satsuma mandarin. Bull. NARO Inst. Fruit Tree Sci. 15: 1–6.

- Nishikawa, F., M. Iwasaki, H. Fukamachi and T. Endo. 2017. Predicting the number of flowers in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) trees based on *CITRUS FLOWERING LOCUS T* mRNA levels. Hort. J. 86: 305–310.
- 農林水産省. 2020. 特産果樹生産動態等調査 確報. 種類別栽培状況 かんきつ類・かんきつ類以外の果樹. e-Stat 統計で見る日本. <<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003410253>>
- 奥田 均・野田勝二・木原武士・平林利朗. 2002. 樹別交互結実させたウンシュウミカン2品種の生産樹・遊休樹の細根量, 着花・新梢発生並びに葉・根中炭水化物濃度の比較. 園学雑. 71: 588–590.
- 奥野忠一・芳賀敏郎. 1983. 実験計画法. p.131–153. 培風館. 東京.
- 大垣智昭. 1963. 温州ミカンの隔年結果に関する研究. 第4報. 体内成分の季節変化について. 園学雑. 32: 157–167.
- 大垣智昭・藤田克治・伊藤秀夫. 1968. 温州ミカンの隔年結果に関する研究. 第8報. 摘果, 施肥, せん定の組み合わせによる隔年結果防止効果. 園学雑. 37: 16–22.
- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <<http://www-r-project.org>>.
- 佐々木勝昭・中島朱美・志水恒介・神崎真哉・宇都宮直樹. 2008. マンゴー ‘愛紅’ 品種登録 16162.
- Shalom, L., S. Samuels, N. Zur, L. Shlizerman, H. Zemach, M. Weissberg, R. Ophir, E. Blumwald and A. Sadka. 2012. Alternate bearing in citrus: changes in the expression of flowering control genes and in global gene expression in ON-versus OFF-crop trees. PLoS ONE 7: e46930.
- 志水恒介・巽 賢太郎・宇都宮直樹・神崎真哉・伊藤仁久・重岡 成. マンゴー ‘愛紅’ と ‘アーウィン’ の花成特性の差異. 熱帯農学研究. 印刷中.
- Singh, V. K., A. K. M. Tiwari, D. K. Singh and S. M. Pathak. 2007. Effect of leaf number and area on the growth of regular and biennial bearing mango (*Mangifera indica* L.) growth under north Indian conditions. Int. J. Fruit Sci. 6: 77–91.
- 高橋哲也・吉川公規・河村 精. 2004. 園地別交互結実法が ‘青島温州’ の収量や果実の大きさ, 果実品質に及ぼす影響. 静岡柑試研報. 33: 1–6.
- 瀧下文孝・内田 誠・平岡潔志. 2010. 傾斜地ウンシュウミカン成木園での樹別隔年交互結実栽培の収量性と作業効率. 近畿中国四国農研セ. 9: 27–35.
- 鵜飼保雄. 2010. 統計学への開かれた門. p.191–192. 養賢堂. 東京.
- 米本仁巳. 2008. 新特産シリーズ・マンゴー完熟果栽培の実際. p.42–43. 農文協. 東京.
- 米本仁巳・樋口浩和. 2003. わが国のハウス栽培に適したマンゴー (*Mangifera indica* L.) 品種の選抜. Jpn. J. Trop. Agr. 47: 142–148.
- Ziv, D., T. Zviran, O. Zezak, A. Samach and V. Irihimovitch. 2014. Expression profiling of *FLOWERING LOCUS T*-like gene in alternate bearing ‘Hass’ avocado trees suggests a role for *PaFT* in avocado flower induction. PLoS ONE 9: e110613.