

## 学位論文要旨

氏名 楊 学虎

題目 タンカン(*Citrus tankan* Hayata)の着花・結実と果実の発育および成熟に関する研究  
(Studies on the flowering, fruit set, fruit growth and maturity of Tankan(*Citrus tankan* Hayata))

本研究では、タンカン (*Citrus tankan* Hayata) ‘垂水1号’ の高品質果実の連年安定生産技術の確立を目的として、開花・結実、果実の発育と成熟、およびそれらに影響する要因などの生理生態的特性に関する調査・研究を行い、以下のような知見を得た。

1. タンカンでは、開花した花の50%以上を直花が占め、その結実率は極めて低いこと、有葉花では結果枝着葉数が多いほど結実率が高いことを明らかにし、また、タンカンでは第一次生理落果(花)が極めて多く、第二次生理落果の割合は低いという特徴を示した。
2. タンカンの結実率は、他家受粉を行うことによって大幅に高まった。自家受粉と無受粉では結実率は極めて低く、タンカンの結実確保には受粉が有効であることを示した。人工受粉を行っても、種子数は自然受粉果の種子数と同程度の平均2~3個前後であり、果実品質の上でも問題はないと考えられた。
3. 樹冠内の着果位置と各果実品質構成要素との関係について調査したところ、果実重が大きかったのは、主幹からの距離は外側、地表面からの高さは下部であった。果肉率は北側下部で高かった。果皮の着色歩合は南側で高かった。糖度(Brix)は南側外側で高く、滴定酸含量は南側で低く、糖酸比は南側で高かった。これらの結果から総合的に判断すると、方位は南側、主幹からの距離は外側(1.5~2.25m)、地表面からの高さは下部(0~1m)の果実品質が優れており、一方、地表面からの高さの中部、主幹からの距離の中央の果実品質が劣ることを明らかにした。
4. 結果枝着葉数の違いがタンカンの果実発育と成熟に及ぼす影響について調査したところ、果実肥大は結果枝着葉数が多いほど促進され、果皮の着色および果肉色が優れ、糖度が高く、滴定酸含量が低い高品質な果実となる傾向があった。そこで、その差異を生じさせる機構を明らかにするために、結果枝葉の光合成速度および葉のスクロースリン酸合成酵素(SPS)活性を調査したが、着葉数間に有意な差異は認められず、結果枝着葉数が多いほど一果あたりの光合成産物の供給器官が大きくなることが一番の要因として考えられた。
5. 果実の発育や品質および翌年の着花に及ぼす影響を調査するために、いくつかの圃場試験を行った。その結果、遮光処理によって生理落果(花)が促進され、果実の肥大および品質が低下することから、高品質果実の安定生産には日照条件が重要であること、果実の発育と品質の向上および翌年の着花量維持には樹容積1m<sup>3</sup>当たり20~25果程度に摘果することが有効であること、樹勢および翌年の着花量を判断指標として太根のデンプン含量が有効であること、秋季のNAA処理によって葉の光合成速度が高くなり果実肥大が促進されることを明らかにした。
6. 本研究で得られた知見は、タンカンにおける高品質果実の安定生産技術の確立に寄与するものと考えられた。

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名	YANG XUEHU
題 目	Studies on the flowering, fruit set, fruit growth and maturity of Tankan( <i>Citrus tankan</i> Hayata) (タンカン ( <i>Citrus tankan</i> Hayata) の着花・結実と果実の発育および成熟に関する研究)

This study is conducted to improve the cultivation technology seeking for high quality fruit and stable production of tankan (*Citrus tankan* Hayata) 'Tarumizu Igo' fruit. The author investigated the characteristics of flowering and fruit set, growth and maturity in tankan. The results are summarized as follows.

1. In tankan, more than 50% of the total flowers were leafless inflorescence, and most of them abscised in the first fruit drop cycle. In leafy inflorescence, their fruit set ratio increased with the increase in the number of leaves of bearing shoot. The abscission of flower buds, flowers and fruitlets with pedicel (first fruit drop cycle) occurred frequently, but the following drop without pedicel (second fruit drop cycle) happened rarely.
2. Artificial pollination was proved to be effective for boosting fruit set in tankan. The highest fruit set ratio was obtained when cross-pollination was implemented, while extremely low fruit set ratio was observed under the self-pollination and non-pollination conditions. It was considered, therefore, that pollination was an effective mean to ensure its fruit set. Regardless of the pollination mode, the number of the seeds per fruit was two or three. Fruit quality was not affected by pollination.
3. It was observed that the fruit located on the outer portion from the trunk and the lower portion from the ground was larger than those on other locations. The flesh percent was higher at lower portion of the north side. The color index, Brix and Brix/acid ratio were higher and the titratable acidity was lower in the south side. Evaluating these results, the author found that the fruit from south side, 1.5-2.25m distance from the trunk (outer) and 0-1 m height from the ground (lower) had high quality. The fruit from the medium height from the ground and the medium distance from the trunk was, however, relatively inferior.
4. As a bearing shoot had more leaves on it, its fruit became larger, and presented better peel and flesh color, the higher Brix and the lower titratable acidity in the juice. To determine this mechanism, leaf photosynthetic rate and sucrose phosphate synthase (SPS) activity were investigated. However, there were no significant differences among their leaves. It is, therefore, considered that the mass of organ for photosynthetate supply per fruit might be a factor for improving fruit growth and quality.
5. Some field trials were done to improve cultivation technology. Light shading increased fruit abscission and decreased fruit growth and qualities. This means that solar condition is very important for the production of good quality fruit. Fruit thinning of crop load for 20-25 fruit per m<sup>3</sup> of tree volume indicated the best results for the quality of fruit and stimulated more flower induction next year. Naphthalene acetic acid (NAA) treatment at autumn enhanced fruit growth, suggesting that NAA application would accelerates leaf photosynthetic.
6. This study paved the way for producing high quality fruit for farmers and cleared the way for the stable production of tankan (*Citrus tankan* Hayata) 'Tarumizu Igo' fruit.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏名	楊 学虎
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 富永 茂人
	副査 鹿児島大学 准教授 久保 達也
	副査 佐賀大学 教授 松本 亮司
	副査 佐賀大学 教授 野瀬 昭博
	副査 鹿児島大学 准教授 山本 雅史
審査協力者	
題目	タンカン( <i>Citrus tankan</i> Hayata)の着花・結実と果実の発育および成熟に関する研究 (Studies on the flowering, fruit set, fruit growth and maturity of Tankan ( <i>Citrus tankan</i> Hayata))
<p>タンカン (<i>Citrus tankan</i> Hayata) は中国広東省原産の、果実の発育に比較的高温を要する高品質カンキツである。我が国においては鹿児島県南部や島しょ域および沖縄県で栽培されている特産カンキツであり、それらの地域では地球温暖化の進展に伴い、近年‘垂水1号’タンカンの栽培面積が増加している。しかし、日本におけるタンカン栽培の歴史は浅く、栽培地域も限定されているため、これまでタンカンを対象とした研究例は極めて少ない。本研究は、タンカンの高品質果実の安定生産のための栽培技術改善の基礎となる、着花・結実、果実の発育および成熟に関する生理・生態的特性について調査・研究するとともに、数種の処理がタンカンの開花・結実および果汁成分に及ぼす影響について検討したものである。その結果、以下のような知見を得た。</p> <p>1. タンカンでは、直花の開花は早く、開花した花の50%以上を占めるが、その結実率は極めて低い。有葉花は、結果枝着葉数が多いほど開花が遅いが結実率は高い。また、直花を中心とした第一次生理落果(花)が極めて多く、第二次生理落果は少ない。以上のことから、タンカンでは有葉花を確保することが安定生産上重要である。</p>	

2. タンカンの果実発育は他のカンキツ同様 S 字型成長曲線を示し、主要糖はショ糖、主要有機酸はクエン酸である。果実の大きさに影響する砂じょうの数は 8 月までに決定しており、8 月以降の旺盛な肥大は砂じょうの長さで重量の増加によるものである。また、果実の発育期間は長く、成熟期は 2 月上旬であり、高品質果実の安定生産にはこの間の栽培管理が重要である。

3. タンカンでは、自家受粉と無受粉では結実率が極めて低く、単為結果性も極めて低い。他家受粉を行うことによって結実率が大幅に高まり、結実確保には受粉が有効である。人工受粉を行っても、果実当たり種子数は自然受粉果の種子数と同程度の平均 2~3 個前後で、果実品質も問題はない。このことから、タンカン栽培においては他種のカンキツの近隣栽植または混植が結実確保に有効である。

4. 果実品質は、樹冠内の着果位置による変動が大きい。さらに、年次変動も大きい。本研究の結果から総合的に判断すると、方位では南側、主幹からの距離では外側 (1.5m 以上)、地表面からの高さは中~上部 (1.0m 以上) の果実品質が優れている傾向にある。しかし、永年生作物であるタンカンでは、このような調査と解析を今後も年次を重ねて継続し、栽培技術改善に結びつけることが重要である。

5. タンカンの高品質果実安定生産には有葉花の確保が重要であるが、結果枝着葉数が多いほど果実肥大が促進され、果皮の着色・果肉色が優れ、糖度が高く、滴定酸含量が低い高品質な果実となる。しかし、結果枝葉の光合成速度および葉のスクロースリン酸合成酵素 (SPS) 活性は着葉数間に有意な差異は認められないことから、結果枝着葉数が多いほど一果あたりの光合成産物の供給器官が大きくなることで果実肥大と高糖度の最大の要因である。

6. 現地圃場における栽培試験の結果、果実の発育と品質の向上および翌年の着花量維持には樹容積 1m<sup>3</sup> 当たり着果数 20~25 果程度とする摘果が有効である。遮光では生理落果 (花) が助長され、果実の肥大および品質が低下することから、高品質果実の安定生産には日照条件が重要である。夏~秋季の NAA 処理によって果実肥大が促進され、着果葉の光合成速度も高くなる。また、樹勢および翌年の着花量の判断指標として太根のデンプン含量が有効である。

以上のように本研究で得られた成果は、これまで明らかにされていなかったタンカンの着果・結実、生理落果 (花) および果実の発育と成熟の基礎的な知見を明らかにし、タンカン栽培において高品質果実の安定生産技術確立に大きく寄与するものであり、学位論文として十分に価値があるものと判断した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	楊 学虎
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 富永 茂人
	副査 鹿児島大学 准教授 久保 達也
	副査 佐賀大学 教授 松本 亮司
	副査 佐賀大学 教授 野瀬 昭博
	副査 鹿児島大学 准教授 山本 雅史
審査協力者	
実施年月日	平成22年 1月14日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <span style="float: right;">(口答) 筆答</span>	
<p>主査及び副査は、平成22年 1月14日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(農学)の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者 氏名	楊 学虎
<p>主な質疑応答</p> <p>[質問1] 本研究で用いたタンカンでは直花が51%と多く、それらのほとんどが第一次生理落果（花）で落下するとしているが、一般にどのような条件で直花が生じるのか？</p> <p>[回答1] ウンシュウミカンなどでは樹勢が弱い樹で多くなることが知られており、弱い樹・枝で直花が多くなると考えられる。そのため、整枝剪定による日照条件の改善や摘果等の徹底によって樹勢を維持し、有葉果を多く着生させることが、タンカンの結実確保には重要と考える。</p> <p>[質問2] 生理落果（花）の後、新鞘の二次伸長（夏梢の発生）は観察されなかったか？</p> <p>[回答2] 本研究では二次伸長は観察されなかった。ただし、奄美大島や屋久島など高温多湿な環境条件の地域では、生理落果（花）や摘果後に新鞘の二次伸長（夏梢の発生）が観察される場合がある。本試験を行った鹿児島県本土はタンカン栽培の北限地に位置することから、生理落果（花）が多くても新鞘の二次伸長（夏梢の発生）は観察されなかったと考えられる。</p> <p>[質問3] 結果枝着葉数が1、4、7枚の葉で光合成速度を比較しているが、4枚以上ではシンクである果実の存在による光合成速度の増大効果は飽和しているのではないかとと思われるが、その点についてはどのように考えるか？</p> <p>[回答3] 本研究では、結果枝着葉数が1、4、7枚で光合成速度に有意な差異は認められなかったことから、ご指摘のように飽和している可能はある。ただし、本実験の目的は、結果枝着葉数が多いほど果実肥大が旺盛で果汁の糖度が高くなる理由を明らかにすることにあつたので、1、4、7枚という実験区を設定した。</p> <p>[質問4] 結果枝着葉数が多いほど糖含量が高くなる理由は理解できたが、減酸が早くなる理由は何か？</p> <p>[回答4] 結果枝着葉数が多い果実は果実が大きく、果皮が若干粗く、果肉歩合が低い傾向にあり、ウンシュウミカンなどでもこのような果実の酸含量は低いことが知られている。したがって、果実肥大による酸含量の希釈効果が大きいものと考えられるが、有機酸代謝に差が生じていると可能性も考えられる。しかし、本研究の結果からは明確にできない。</p> <p>[質問5] NAA 処理によって光合成速度が高まるようだが、このメカニズムを教えてください。</p>	

[回答5] 果実のみを NAA 溶液に浸漬した場合にも果実が大きくなり、光合成速度が増大しているので、おそらく NAA 処理による果実肥大に伴いシンク力が増大し、シンクソースの関係により葉の光合成速度が高くなったと考えられる。ただし、不着果枝でも NAA により光合成速度の増大が観察されたことから、葉に直接作用して光合成速度を高めている可能性もあり、他のカンキツ類ではそのような報告もある。

[質問6] NAA による果実肥大のメカニズムを教えてください。

[回答6] 一般に、NAA は細胞分裂ではなく細胞肥大を促進することによって果実肥大を促進することが知られている。カンキツ類の細胞分裂は6月下旬には完了すると言われている。本研究でも、NAA 処理を行った8月および9月には、既に細胞分裂は終了していると考えられ、NAA 処理によって砂じょうの長さが増大した。

[質問7] 中国におけるタンカンの生理・生態的研究の現況を教えてください。

[回答7] タンカンの原産地であり、中国におけるタンカン主産地である広東省ではタンカンを供試した研究はほとんどない。一方、台湾では隔年結果性や花粉発芽に関する研究例が僅かにあるが、それ以上の詳細な研究報告はない。