



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

カンキツ「はるみ」の摘果法と貯蔵法改善に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-07-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 瀧下, 文孝 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/81598

カンキツ「はるみ」の摘果法と貯蔵法改善に関する研究

2 0 2 0 年

岐阜大学大学院連合農学研究科

生物生産科学

(静 岡 大 学)

瀧 下 文 孝

カンキツ「はるみ」の摘果法と貯蔵法改善に関する研究

瀧 下文 孝

目次

第1章	緒言	1
第2章	カンキツ‘はるみ’の摘果法と生理障害に関する文献調査	3
第3章	カンキツ‘はるみ’の枝径を用いた摘果基準の策定と評価	21
第4章	カンキツ‘はるみ’における貯蔵中の障害果発生に及ぼす ポリエチレン包装と果実サイズの影響	42
第5章	総合考察	59
	総合摘要	62
	謝辞	64
	引用文献	65
	Summary	71

第1章 緒言

日本のカンキツ栽培面積は1977年に20万7千haに達したが、2010年代には8万haにまで減少した。ウンシュウミカンの栽培面積は1973年に17万3千ha、生産量は1975年に366万5千トン記録したが、その後2010年代にはそれぞれ5万ha、および約80万トンにまで減少した。ウンシュウミカン以外のカンキツの栽培面積は1982年に6万7千haあったが次第に減少し、2010年代は3万以下となった。2010年代までの主なカンキツはナツダイダイ、ハッサク、イヨカン、ネーブルオレンジが主な品種であったが、21世紀に入り、‘はるみ’、‘せとか’、‘不知火’など新しい品種の生産量が増えていった。2017年におけるウンシュウミカン以外の主なカンキツの栽培面積は以下のとおりである。‘不知火’(2,793 ha)、ユズ(2,244 ha)、イヨカン(2,223 ha)、ポンカン(1,701 ha)、ナツダイダイ(1,599 ha)、ハッサク(1,585 ha)、‘清見’(867 ha)、タンカン(780 ha)、カボス(534 ha)、レモン(524 ha)、ブントラン(499 ha)、河内晩柑(481 ha)、‘はるみ’(471 ha)、ヒュウガナツ(449 ha)。このように、2000年頃を境に日本のカンキツ品種の構成が大きく変わり、新しく開発された品種の栽培方法、貯蔵方法改善についての試験が求められている。

カンキツ‘はるみ’は現農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域で育成され、1999年に種苗登録された品種で、2017年の国内栽培面積、および生産量はそれぞれ471haと5,626tとなっており、広島県、愛媛県、静岡県などで主に栽培されている。‘はるみ’は樹勢が強くて生産性があり、果実は無核で剥皮性があり、糖度と酸度が調和し、多汁でじょうのう膜が薄いため食味は極めて良好である。

一方で、‘はるみ’は隔年結果性が強いことや、果実サイズが揃わないなど栽培上の難しさが指摘されている。果実の大きさは収量だけでなく、品質、貯蔵性、商品性など多くの要素に影響を与える主要因となる。このため、適切に摘果を行なって果実の大きさを揃えとともに、隔年結果是正をも見据えた着果管理が重要となっている。しかしながら、現在用いられている摘果基準は、適用する際に労力がかかることや、表年や裏年など異なる樹相などには対応していないのが現状である。今後、‘はるみ’の生産量を増やしていくためには、栽培

を始めてから間もない生産者でも、簡易に用いることができる摘果基準の策定が求められる。また、樹相や栄養状態が異なると果実サイズや形質が異なることが知られており、樹相に応じて適正に適用できる摘果基準の開発が求められる。

‘はるみ’の収穫期は栽培適地において1月で、貯蔵後の減酸状況に応じて2月から3月に出荷される。しかし、1月に寒波に見舞われる地域や年において、予定よりも早期に収穫する必要が生じる。また、地球規模での温暖化の進行等による秋冬季の高温はクラッキングや水腐れなどの果皮障害を助長するため、早期の収穫が求められる。一般的に収穫時期が早まると果実の酸度が高い状態で収穫される傾向にある。小さいサイズの果実や、夏季に強い水ストレスを受けた場合にも酸濃度が高い傾向がみられる。果汁中の酸濃度は、収穫後、貯蔵中に徐々に減少するため、収穫時に酸が高かった果実は、適切な酸濃度になるまで貯蔵することで出荷することができるようになる。このように、‘はるみ’において、酸高果実が増加することが予想され、長期間の貯蔵が求められる可能性がある。しかしながら、ウンシュウミカンや‘はるみ’のように果皮と果肉が離れやすい寛皮性カンキツは高湿度条件下で浮皮が発生しく、貯蔵期間は長くて2か月程度とされている。今後、‘はるみ’の貯蔵期間を延長するためには、浮皮など貯蔵中の障害果の発生条件についてさらなる解明が求められる。

本研究では、第2章において、これまでのカンキツの摘果法と貯蔵法の現状と問題点を明らかにするため文献の検索を行い、今後の方向性について検討した。第3章においては、‘はるみ’を用いてこれまでよりも簡易に適用できる摘果基準の策定を試み、果実サイズ、収量、品質に及ぼす影響を明らかにした。次に、第4章では、同じく‘はるみ’を用いて、ポリエチレン包装と果実サイズが貯蔵中の障害果発生や果実品質に及ぼす影響について調査し、貯蔵期間延長の可能性を明らかにした。

第2章 カンキツ ‘はるみ’ の摘果と生理障害に関する文献調査

(Fruit thinning and physiological disorders in citrus variety ‘Harumi’)

2-1 Introduction

Citrus production area in Japan reached a peak of 207.0 thousand ha in 1977 and then gradually decreased to less than 80 thousand ha in 2010’s. Area and amount of production in Satsuma mandarin, the major citrus variety in Japan, was 173.1 thousand ha in 1973 and 3,665 thousand ton in 1975. However, they gradually decreased to less than 50 thousand ha and around 800 thousand ton in 2010’s, respectively (MAFF, 2017). The largest production area of citrus varieties other than Satsuma mandarin was 67.4 thousand ha in 1982 and decreased gradually to less than 30 thousand ha in the 2010’s. In addition to Satsuma mandarin, Natsudaidai, Hassaku, Iyo and Navel orange were also the main citrus varieties until 2010’s (Fig. 1). However, new citrus varieties such as ‘Harumi’, ‘Setoka’ and ‘Shiranuhi’ were released and their production area increased after the 21st century. The varieties and production area of different citrus varieties in 2017 were ‘Shiranuhi’ (2,793 ha), Yuzu (2,244 ha), Iyo (2,223 ha), Ponkan (1,701 ha), Natsudaidai (1,599 ha), Hassaku (1,585 ha), ‘Kiyomi’ (867 ha), Tankan (780 ha), Kabosu (534 ha), Lemon (524 ha), Buntan (499 ha), Kawachibankan (481 ha), ‘Harumi’ (471 ha), Hyuganatsu (449 ha) etc. (Fig. 2).

Citrus variety ‘Harumi’ was developed and released in 1996 by Okitsu branch, Fruit Tree Research Station, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), (presently National Institute of Fruit Tree and Tea Science (NIFTS), National Agricultural Research Organization (NARO)) and was registered according to the plant variety protection law in 1999. It originates from a hybrid between ‘Kiyomi’ tangor (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) and ‘F-2432’ Ponkan (*C. reticulata*). The production area and production of ‘Harumi’ increased after 2001 and reached 471 ha and 5,626 t in 2017, respectively (MAFF, 2017) (Fig.3). According to Yoshida (2000) ‘Harumi’ is a mandarin-type cultivar and its average fruit weight is about 190 g and fruit shape is oblate. The rind color is orange and it is easily peeling. The

fruit ripens in January and stored until the shipping time in February or March. The tree vigor is medium and has semi-upright growth habit and a strong tendency to alternate bearing. It is resistant to citrus scab and moderately resistant to citrus canker (Yoshida, 2000). ‘Harumi’ shows a high rate of fruit bearing and this trait often results in alternate bearing and a wide range of fruit size (Hisamatsu, 2005). As the fruit quality, the occurrence of physiological disorders and storage ability are closely associated with the fruit size, the control of fruit size is very important in citrus.

2 - 2 Fruit thinning

Fruit size among different citrus varieties differs drastically and standards of classification in citrus fruits are defined as shown in Table 1 (MAFF, 1987). The most excellent fruit quality can be attained in the specific class of its own variety. For example, generally fruit quality of S or M class is good in Satsuma mandarin. In ‘Harumi’, negative relationship between fruit size and sugar or acid concentration in juice was observed (Hisamatsu, 2005). In addition, rind puffing and granulation of juice sac were mainly observed in fruits bigger than 2L, or L size, respectively. Hisamatsu (2005) has comprehensively judged that fruit quality was excellent in 2L class in ‘Harumi’. During fruit thinning, fruit that are too small or too large are removed and the fruit number is adjusted. As a result, fruit size is equalized, and alternate bearing is prevented. In this section, fruit thinning criteria which can be used in ‘Harumi’ are summarized.

1 Fruit thinning based on leaf and fruit balance

As fruit develops with the supply of carbohydrates translocated from leaves, fruit development greatly depends on the amount of leaves. Thus, in order to equalize fruit size, the amount of leaves per fruit is equalized by fruit thinning. In other words, the balance between the fruit and leaf is adjusted based on fruit thinning criterion. Therefore, the factors that affect fruit and leaf balance should be considered during the fruit thinning. Characteristics relevant to leaf are individual leaf weight, leaf area per leaf, leaf number, total leaf area and leaf area index (LAI) etc. Though LAI has been measured by special

equipment (plant canopy analyzer), it can be determined using digital camera equipped with a fisheye lens and image processing free software (Hamada, 2020). Characteristics of fruit are fruit weight, fruit growth period, dry weight percent etc. As the sugar content increases when fruit size becomes large, more carbohydrates would be required. Thus, these characteristics should be considered in defining fruit thinning criterion. Several fruit thinning criteria are listed in Table 2.

In order to clarify the appropriate range of fruit thinning criterion, the influence of leaf and fruit ratio (L/F) in number base on the yield, alternate bearing and carbohydrates content were investigated in Satsuma mandarin. Iwasaki (1961) reported that the most desirable L/F ratio for the current year's crop was 20-25 for medium maturing Satsuma mandarin. Nishida (1978) suggested that maximum yield was obtained in 'Sugiyama' medium maturing Satsuma mandarin when L/F ratio was 20 and that the L/F ratio for the stable yield seemed to be 20 or more. Nishida (1978) also found that fruit quality increased when nitrogen supply decreased, and L/F ratio was 30-40 in this treatment. It has been reported that alternate bearing was prevented in 'Miyagawa-wase' early maturing Satsuma mandarin when L/F ratio was set to 35 under the no plowing and less fertilization condition (Tachibana, 2004). Carbohydrate content of leaves at harvest time and the blossom production in the following year was increased as the L/F ratio increased (Shimizu, 1975). Though the leaf size of Satsuma mandarin varied depending on the strain, L/F ratio as a fruit thinning criterion is set to 25-30 for early ripening Satsuma mandarin and 20-25 for standard Satsuma mandarin (Kishino, 1985). Other definitions which indicate the balance of leaf and fruit have been reported in Satsuma mandarin. They are fruit number per leaf dry weight kg (Hirano, 1975), fruit number per 10000 leaves (Morioka, 1989), fruit number per leaf area (Tachibana, 2004) and fruit weight kg per leaf area m² (Nishikawa, 2012).

As observed in Satsuma mandarin, there was also negative correlation between fruit set per 100 leaves and the fruit size at harvest or the flower index in the following season in 'Harumi' (Muto, 2010). In 'Harumi', ideal fruit weight and size are larger than those of Satsuma mandarin, while the leaf size is smaller than that of Satsuma mandarin. For these reason, L/F ratio in number is set to larger value in the

fruit thinning of 'Harumi'. Generally, L/F ratio in the fruit thinning of 'Harumi' is set to 100-120 (Banno, 2004; Sugiyama, 2011; Ikeda, 2010). This range of L/F ratio is also used in fruit thinning of other late-ripening citruses such as 'Shiranuhi' and 'Kiyomi' (Ikeda, 1985; Kawase, 1999; Nokata, 1985).

Practically, experienced growers conduct fruit thinning by setting appropriate L/F ratio according to their experience and intuition. If beginners in citrus farming carry out fruit thinning with their intuition, excess or insufficient fruits may be thinned. Therefore, when the beginners use L/F ratio as the thinning criterion, the task of counting fruits and leaves may be needed. Thus, assessment of L/F ratio has the problem described above and this makes production of fruit with ideal size difficult in citrus. (Table 1)

2 Fruit thinning based on fruit number per canopy volume

Fruit number per canopy volume is also used as a fruit bearing standard in citrus. In 'Harumi', Fujiwara (2008) reported that excess flowers were observed when fruit number per one cubic meter of canopy volume were set to less than 10 in the previous year and that flowers were insufficient if fruit number per canopy volume were set to more than 40 in the previous year. In their study, flower setting was stable and large number of fruits of the L and 2L was obtained when fruit number per one cubic meter of canopy volume was 20-25. In fruit thinning with fruit number per canopy volume, the amount of leaf per unit volume is supposed to be identical under different tree conditions. However, according to Iwasaki (1966), leaf number per canopy volume decreases when canopy volume is more than 30 m³ in Satsuma mandarin. Another study indicated that yield per unit size of a tree increases until the 12 years old when the tree size is about 10 m³ in Satsuma mandarin (Yakushiji, 1970). Both results suggest that leaf density tends to decrease in accordance with the increase of canopy volume and that the relationship between leaf number and canopy volume is not linear. This implies that fruit thinning with fruit number per canopy volume is not available in all tree conditions. In addition to this problem, it takes time and effort to measure canopy volume and count fruit number per tree in this fruit thinning method.

3 Estimation of amount of leaf

In fruit thinning with the criterion mentioned above, counting leaf number or fruit number of a tree are laborious. Consequently, developing labor saving and objective thinning criterion are of great importance to control fruit number and to produce fruit with ideal size.

The relationship among tree organs has been studied by several researchers in fruit tree. Pearce (1952) studied the relationship between trunk girth and tree weight using allometric relationship $W=AG^b$, (G; trunk girth, W; tree weight, A, b; constant). The relationship between trunk cross sectional area and tree weight or yield was analyzed in apple (Ogata, 1986; Westwood, 1970). In apple, branch diameter was used to draw tree structure (Takishita, 1995) and productivity was evaluated with tree vigor balance defined as the ratio of branches to the main stem (Lee, 2015). In citrus, Hirano (1969) used allometry equation to estimate leaf area based on relative growth theory. Also, leaf area was estimated by branch diameter in 'Harumi' cultivar (Takishita, 2010). By using these techniques, the amount of leaf was estimated easily. Then fruit thinning criterion would be defined as characteristic of another organ such as branch diameter, resulting in that fruit thinning can be carried out without experience or counting leaves or fruits.

2 - 3 Storage and physiological disorders in citrus

Fruits of very early and early maturing Satsuma mandarin are usually shipped soon after harvest without storage. On the other hand, in some citrus varieties, such as medium maturing Satsuma mandarin or late maturing citrus, fruits need to be stored until its moderate shipping time because fruit quality at harvest isn't suitable for shipping. In 'Harumi', though the maturation time is in January, fruit are harvested in December to avoid the occurrence of physiological disorders or cold injury (Takishita, 2006). When fruits of 'Harumi' are harvested earlier than the moderate time, the citric acid concentration in the juice is relatively high for marketing. Thus, fruits need to be stored until citric acid concentration decreases in the consumer's limit. However, decay, weight loss and physiological disorders are often observed during storage.

To extend storage period, relationships between storage ability and temperature conditions or maturation stage have been studied in citrus. When fruits were pretreated at 20 degree centigrade, then duration period was shorter, fruit weight loss and the degree of decay at the later stage was less, peel color turned to deeper orange and respiration rate during storage was lower than those pretreated at 10 degree in Satsuma mandarin (Hasegawa, 1984). Matsumoto (2019) found that the content of β -cryptoxanthin continued to increase following 15 days of storage in fruit harvested when β -cryptoxanthin was still being accumulated in 'Aoshima' Satsuma mandarin. Fruit of 'Shiranuhi' stored at 12 degree centigrade with MA packing showed superior rind and flesh color and eating quality. No incidence of decay and few rind oil-spots and calyx dies was observed in the long-term storage (Aikawa, 2013).

Physiological disorders of peel, flesh and whole fruit occur during the fruit growth and storage. Sunscald (sunburn) of fruit occurred in August and September under exposure to intense sunlight in 'Setoka' (Hayashida, 2011). Rind color degradation was induced by exposure to sunlight in 'Setoka' and was prevented by fruit bagging (Hayashida, 2011; Takishita, 2014). Rind color degradation in 'Reikou', 'Amakusa', 'Nankou', 'Tsunonozomi' and 'Miho-core' was also prevented by black, green and pink bagging (Takishita, 2014). Fruit suffered from these disorders have no influence on storage ability because they are rotten and drop or removed by thinning and selection before storage.

Physiological disorders which occur in mature fruit before harvest can influence storage ability. Physiological disorders of citrus during maturation or storage are listed in Table 3 and Fig.4. In some overripened fruit, cracking of the peel was observed around calyx or surface of the peel in some specific cultivars (Takishita, 2020). Raindrops stayed within the cracking and this resulted in water rot (decay) before shipping. The occurrence of water rot can be prevented by GA spray (0.5 ppm for Ponkan and 0.5 - 1 ppm for Beni-Madonna) before harvest (FAMIC, 2021). Fruit quality and the occurrence of physiological disorders were influenced by storing conditions. The occurrence of rind oil spots of Navel orange was low at high pretreatment temperature (20 degree centigrade). On the other hand, it was high

at high storing temperature (9 degree) in Hassaku (Iba, 2078). The number of decayed fruits of ‘Yoshida’ Navel orange increased during storage as the temperature increased. The rind oil spots of Hassaku and ‘Yoshida’ Navel orange were observed at the higher storage temperature than the room temperature (Tominaga, 1982). In some cultivars, occurrence of physiological disorders was influenced by fruit size. For example, in ‘Harumi’, rind puffing and granulation of juice sac were a problem in large fruits (Hisamatsu, 2005). While large weight loss, peel wrinkle or collapse of juice sack were problems in small fruit (Takishita, 2019) (Figure 4). Thus, the storing conditions should be adjusted according to the disorder type.

Since 1990’s, new citrus varieties were developed and released and some of them used ‘Kiyomi’ or Ponkan as parents. Sometimes, rind oil spots occur in ‘Kiyomi’ and water rot in Ponkan after harvest. Ponkan is also susceptible to shrinkage and dehydration of juice sac in the early stage of fruit growth and granulation after maturation (Matsumoto, 1973). Both ‘Harumi’ (Kiyomi × Ponkan ‘F-2432’) and ‘Shiranuhi’ (Kiyomi × Ponkan ‘Nakano no.3’) are the descendant of ‘Kiyomi’ and Ponkan (Matsumoto, 2001; Yoshida, 2000). In both cultivars water rot at harvest is a big problem and GA spray (0.5 - 1 ppm) before harvest is conducted to prevent water rot (FAMIC, 2021). Rind puffing is a big problem in ‘Harumi’, but not in ‘Shiranuhi’. In the next section, studies on physiological disorders during storage and the effects of PE wrapping on physiological disorders are summarized.

1 Rind puffing

Citrus are classified into tight-skin and easy-peeling (loose skin) type according to the easiness of peeling. Natsudaidai, Hassaku, Navel orange, ‘Shiranuhi’, and ‘Setoka’ belong to tight-skin type. For easy-peeling citrus such as Satsuma mandarin, Ponkan, Iyo and ‘Harumi’, rind puffing is a big problem (Kawase, 1985; Nakajima, 2014). Rind puffing is characterized by the increment of inner-fruit space. The increase of space between peel and flesh causes the decrease of specific gravity of fruit and the occurrence of rind puffing (Yokoo, 1963). The fruits suffered from this disorder are easy to be injured by physical shock during harvest and shipping and the cracking of the peel causes decay (Kawase, 1985).

Rind puffing was induced by high humidity during fruit maturation (Kawase, 1984; Kawase, et al., 1984; Yokoo, 1963) and storage (Nakajima, 2014). Rind puffing of Satsuma mandarin can be prevented by spraying chemicals which are registered according to the agricultural chemicals regulation law. Some of them are Ca type such as CaCO_3 (0.95%, 0.455-0.91%), or CaCl_2 (0.09%) + $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.19%) (FAMIC, 2021). The spray of ethychlozate (67-100 ppm) or combined spray of GA (1-5 ppm) and prohydrojasmon (25-50 ppm) are registered and used for preventing rind puffing of Satsuma mandarin (Kawase, 1985; Sato, 2015; FAMIC, 2021). Easy-peeling citrus ‘Harumi’ has a wide range of fruit size, and in large fruit, specific gravity was low and rind puffing was a problem (Hisamatsu, 2005; Takishita, 2019). These results suggest that keeping fruit with high specific gravity is the key to prevent the occurrence of rind puffing.

2 Dehydration and granulation of juice sac

Dehydration of flesh is classified into four types (Matsumoto, 1973). The first is granulation of juice sacs which occurs in Sanbokan, Natsudaikai and many late maturing varieties before harvest. This disorder is characterized by thickening and whitening of juice sack (Goto, 1983; Matsumoto, 1973). Granulation was also observed in large fruit of ‘Harumi’ (Hisamatsu, 2005).

The second is shrinkage and gelation of juice sacs of Ponkan in the early stage of fruit development (Matsumoto, 1973).

The third is dehydration of juice sack in Ponkan (Matsumoto, 1973), ‘Setoka’ (Nakajima, 2014) and ‘Harumi’ (Takishita, 2019). Dehydration of flesh is distinguishable from granulation by the lack of thickening and whitening of juice sack, but the mechanism is unclear (Matsumoto, 1973). Larger fruits of ‘Harumi’ showed low specific gravity (SG) and high degree of dehydration of flesh (Takishita, 2019).

The fourth is the dry juice sac caused by freezing which is called cold injury (Matsumoto, 1973). In 1970’s, cold wave attacked citrus producing area in the western part of Japan. Dehydration of middle or late maturing citrus was induced by low temperature in Natsudaikai, Fukuhara orange and Sanbokan (Iba, 1978). After fruit froze, dry juice sac or bitterness of juice occurred during storage in late maturing

citrus such as Natsudaidai, Hassaku and sweet orange. The mechanism and conditions of cold injury were clarified (Fumuro, 2014; Nakajima, 1974; Uchida, 1983, 1984, Uchida et al., 1984). After fruit froze, large cavity appeared in the inside of flesh segment and the structure of juice sack were destroyed (Nakajima, 1974). The decrease of specific gravity was observed corresponding to the degree of dehydration caused by freezing, and fruit storage at lower temperature soon after frost damage showed slight occurrence of dry juice sack (Uchida, et al., 1984).

3 Influences of PE wrapping on the occurrence of physiological disorders

After harvest, fruit is deprived of water rapidly by evaporation or transpiration (Iba, 1978). Fruit weight decreased gradually if fruits were placed at high temperature and low humidity. Generally, PE wrapping keeps fruit in high humidity and consequently prevents fruit weight loss (Iba, 1978; Tominaga, 1982). The water loss induced different responses in fruit. In ‘Shiranuhi’, large weight loss and peel wrinkle were observed during storage. These phenomena were prevented by PE wrapping in ‘Shiranuhi’ (Nakajima, 2014) and indicate that the occurrence of peel wrinkle is induced by water loss in peel. The dehydration of juice sac of ‘Setoka’ occurred in non-wrapped storage but was prevented by PE wrapping. Thus, it was indicated that dehydration of flesh was caused by water loss in flesh (Nakajima, 2014). In ‘Harumi’, small fruit showed peel wrinkle during storage, similar characteristic to ‘Shiranuhi’, and PE wrapping was effective to decrease fruit weight loss. Large fruit of ‘Harumi’ had the trait of ‘Setoka’ and suffered from dehydration of juice sac, and PE wrapping weakened the decrease of specific gravity during storage until March (Takishita, 2019). Rind oil spots of fruits occurred in the non-packed fruits but not in fruits packed with PE film in ‘Kawano’ Natsudaidai and ‘Miyauchi’ Iyo (Tominaga, 1982). On the other hand, PE wrapping induced fruit decay of ‘Kawano’ Natsudaidai, ‘Miyauchi’ Iyo (Tominaga, 1982) and ‘Shiranuhi’ (Nakajima, 2014). In tight skin type of citrus, the adaptability of PE wrapping was judged considering the degree of decay, rind oil spots and weight loss in each citrus. Rind puffing (Nakajima, 2014) and granulation (Yasutake, 2015) of easy peeling citrus was induced by PE wrapping. Thus, generally, PE wrapping is not recommended for easy peeling citrus. However, since

peel wrinkle and dehydration were suppressed by PE wrapping in some cultivars as mentioned above, details of the effect of PE wrapping needs to be clarified and the technique to decrease the demerit is required to keep fruit quality high in easy-peeling citrus varieties.

2-4 Conclusions

Many new citrus varieties were released since 1970's and the production of these varieties increased in the 21st century. In citrus, fruit size greatly affects fruit quality and storage ability. Thus, controlling fruit size and producing fruit of moderate and equalized size by fruit thinning is very important. Whereas, the present fruit thinning criteria for citrus needs laborious tasks. Few studies on the easy and objective fruit thinning criterion, which can be available to different tree conditions, have been reported. In addition, physiological disorders in peel or flesh during storage are unveiled and the favorable storing condition has not been clarified for easy-peeling citrus yet. Since producing fruit with moderate size and keeping them in high quality during storage are crucial for supplying high quality fruit, it is of great importance to develop an easily available thinning criterion and improve storing condition of citrus fruit.

2-5 摘要

‘はるみ’やウンシュウミカンで主として使われている摘果基準は葉果比、あるいは樹冠容積当たり着果数を用いることが文献検索により明らかとなった。葉果比は葉と果実のバランスを示す指標であるが、その定義は果実1個当たり葉数、葉面積当たり果実数など様々であることや、実際の適用時に多くの時間と労力を要するなど問題がある。樹冠容積当たり着果数については、樹齢や樹冠容積が増大すると葉の密度が低下するため一定の値をとらないことが報告されている。また、樹全体の着果数を把握するのに困難を伴う。これらのことから、葉量に基づき簡易に適用できる新しい摘果基準の策定が必要であることが示された。

一方、‘はるみ’は寛皮性カンキツに分類され剥皮が容易であるが、一定の条件下で浮皮が発生することが知られている。また、‘はるみ’の果実サイズはSから4Lまで変動幅が大き

く、果実品質や貯蔵中に発生する生理障害もサイズにより異なることが報告されている。ポリエチレン（PE）包装による貯蔵は果実減量やヤケ症に対して抑制効果が認められ、中晩性カンキツにおいて広く用いられているが、‘はるみ’においては浮皮発生が問題となり無包装での貯蔵が求められている。しかし、無包装での貯蔵は果実減量が大きく果皮萎凋が発生しやすいため、貯蔵期間は長くて2か月とされている。今後‘はるみ’の貯蔵期間を延ばすためには、貯蔵中の生理障害発生に及ぼす果実サイズの影響と、これに応じた貯蔵管理法を明らかにする必要性が示された。

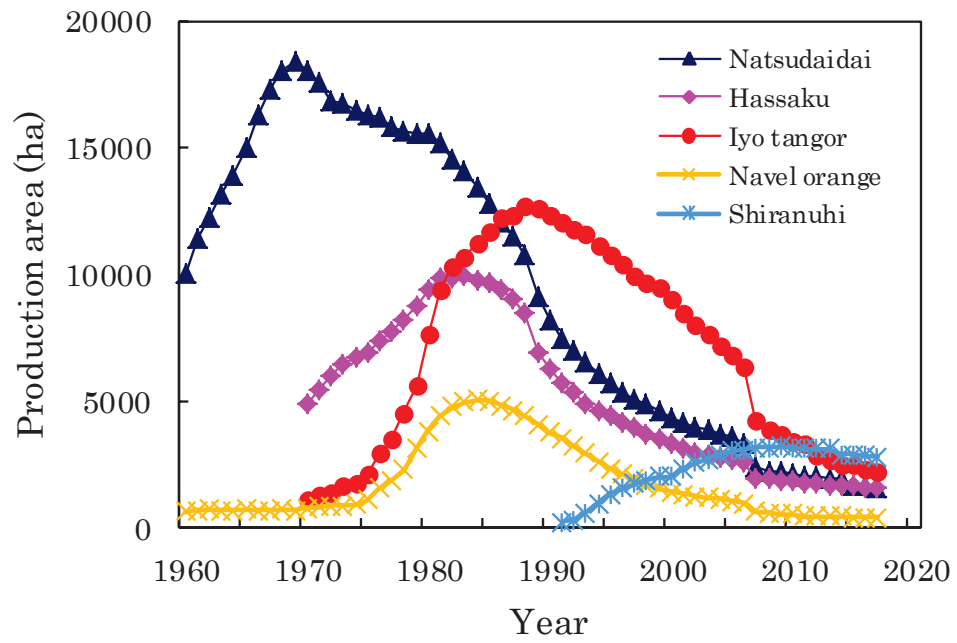


Figure 1: Production area of main citrus cultivars from 1960 to 2018 in Japan.

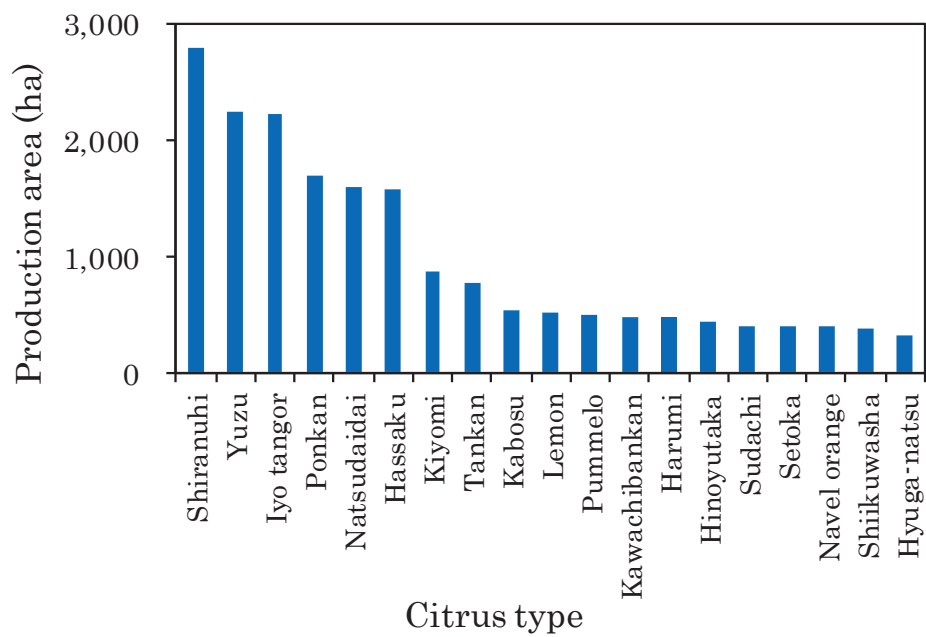


Figure 2: Citrus production area other than Satsuma mandarin in 2017.

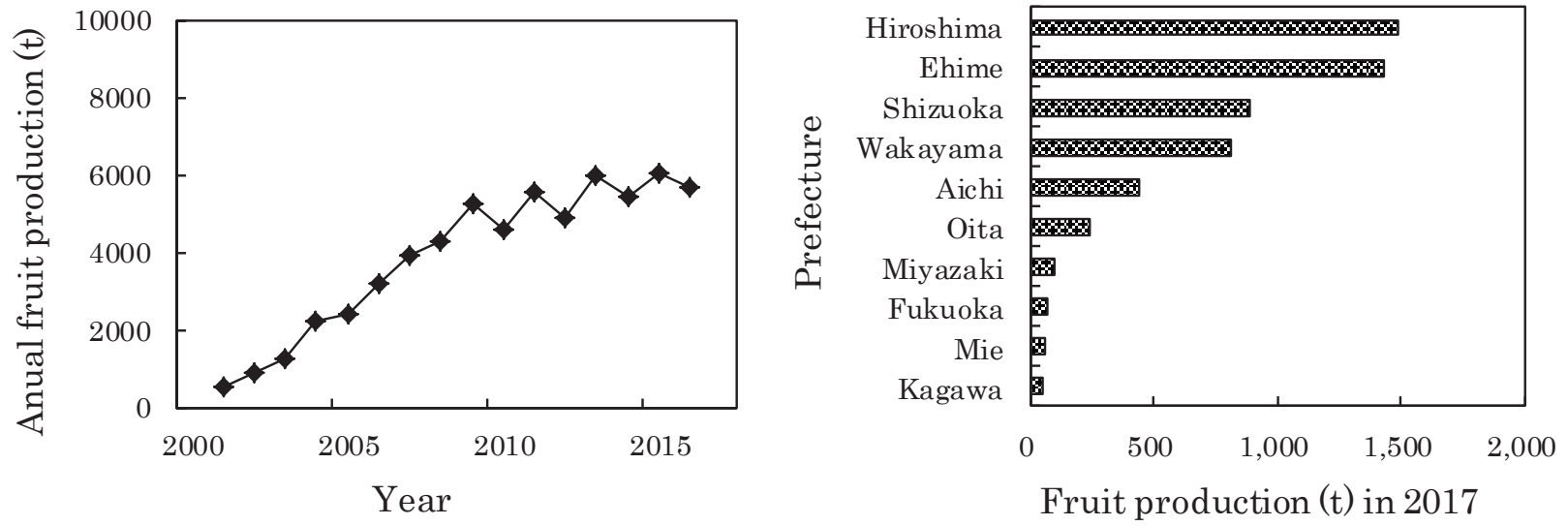


Figure 3: Annual (upper) and prefectural (below) fruit production of 'Harumi'.

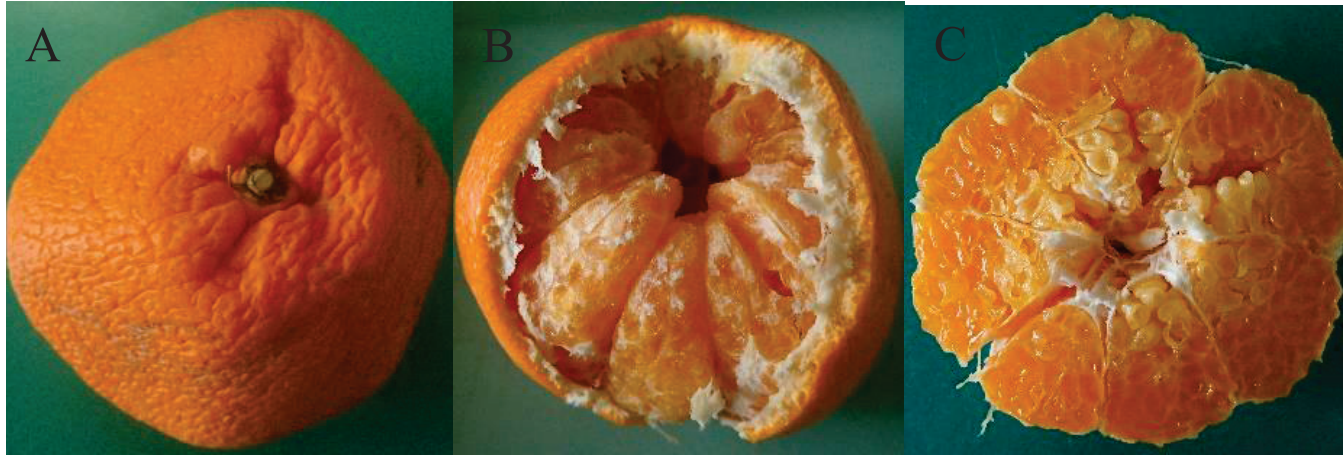


Figure 4: Reaction of 'Harumi' fruit to water loss during storage. After the storage without PE-wrapping, peel wrinkle (A), rind puffing (B) and granulation of juice sac (C) were observed (Takishita et al., 2019).

Table 1 National standards of citrus fruit classes (MAFF, 1987)

Citrus group	Fruit maximum diameter (mm)										
	<55	<61	<67	<73	<80	<88	<95	<102	<109	<116	116<
I. Satsuma mandarin	2S	S	M	L	2L	3L					
II. Navel orange		2S	S	M	L	2L	3L				
III. Iyo tangor			2S	S	M	L	2L	3L			
IV. Hassaku				2S	S	M	L	2L	3L		
V. Ama-natsudaidai					2S	S	M	L	2L	3L	
VI. Natsudaidai						2S	S	M	L	2L	3L

I. Ponkan, Fukuhara orange, Tankan, Seminole, 'Harehime' etc.

II. Hyuga-natsu, 'Kiyomi', 'Harumi', 'Setoka' etc.

Table 2 Overview of studies on fruit thinning criterion for Satsuma mandarin and citrus variety 'Harumi'

Citrus type	Criterion	Definition	Range	References
Satsuma mandarin (<i>Citrus unshiu</i> Marc.)	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	20-30	Iwasaki, 1961
	Indicator of fruit load	Fruit number / kg of dry leaves Leaf number / fruit number	0-70 40-60	Hirano and Morioka, 1975
	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	30,60,100,300	Shimizu et al., 1975
	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	30-40	Nishida, 1978
	Fruit load index (FLI)	Fruit number / 10000 leaves	300-1100	Morioka and Yahata, 1989
	Leaf and fruit ratio	Fruit number / leaf area (m ²) Leaf number / fruit number	0-25 35	Tachibana and Yahata, 2004
	Fruit weight per leaf area	Fruit weight (kg) / leaf area (m ²)	0-2	Nishikawa et al., 2012
Harumi (Kiyomi × Ponkan (<i>Citrus reticulata</i> Blanco))	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	120	Banno et al., 2004
	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	100	Sugiyama et al., 2011
	Leaf and fruit ratio	Leaf number / fruit number	100	Ikeda, 2010
	Fruit and leaf ratio	Fruit set / 100 leaves	0-4	Muto et al., 2010
	Fruit number per canopy volume	Fruit number / cubic meter (m ³)	20-25	Fujiwara and Inoue, 2008

Table 3 Overview of studies on physiological disorders in citrus fruit during maturation or storage

Physiological disorder	Feature	Citrus type	Cause	References
Peel wrinkle	Occurrence of peel wrinkle	Satsuma mandarin, Harumi, Shiranuhi etc.	Fruit drying	Nakajima, 2014 Takishita et al., 2019
Rind oil spot	Collapse and browning of oil gland	Kawano Natsudaidai, Miyauchi Iyo Hassaku, Yoshida Navel	Non-seal-packing of PE High storage temperature	Tominaga and Daito, 1982
Rind puffing	Occurrence of space between peel and flesh	Easy peeling citrus	High humidity	Yokoo et al., 1963 Kawase, 1984 Kawase et al., 1984 Kawase et al., 1985 Sato et al., 2015
Granulation	Thickeness, dehydration, whitening of juice sack	Sanbokan, Natsudaidai	Overripening	Matsumoto, 1973 Goto and Araki, 1983 Yasutake, 2015
Shrinkage and Gelation	Dehydration and gelation of juice sac	Ponkan	Drought	Matsumoto, 1973
Dehydration of juice sack	Shrinkage and yellowing of juice sack	Ponkan, Setoka	Unclear	Matsumoto, 1973 Nakajima, 2014
Dry juice sac	Collapse and dehydration of juice sack	Citrus species	Freezing	Matsumoto, 1973 Nakajima et al., 1974 Uchida, 1983 Uchida, 1984 Uchida et al., 1984 Fumuro et al., 2014
Degradation of flesh	Collapse of juice sack structure	Harumi	Fruit drying	Takishita et al., 2019

第3章 カンキツ ‘はるみ’ の枝径を用いた摘果基準の策定と評価

3-1 緒言

カンキツ ‘はるみ’ (‘清見’ × ‘F-2432’ ポンカン) (‘Kiyomi’ tangor (*Citrus unshiu* Marcow. × *C. sinensis* (L.) Osbeck) × ‘F-2432’ ponkan (*C. reticulata* Blanco)) は、農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)により育成された品種で、1999年に品種登録された(吉田ら, 2000)。2017年の栽培面積は471 ha、生産量は5,626 tに達し、広島県、愛媛県、静岡県などで主に栽培されている(農林水産省生産局園芸作物課, 2017)。しかし、隔年結果性が大きく(吉田ら, 2000)、果実サイズがSから5Lまで広範囲に分布し(久松ら, 2005)、果実品質がばらつくことが問題となっている(Takishitaら, 2006, 2019)。

カンキツでは果実サイズの調整、隔年結果の是正、品質向上などのため摘果が広く行われており、摘果程度の指標には葉果比が用いられる。‘はるみ’において、武藤ら(2010)は、1果実当たりの葉数が100以下に低下すると次年度の着花が減少することを報告している。実際の栽培では、‘はるみ’の摘果基準として葉果比100~150が採用されている(池田, 2010)。一方、‘はるみ’では表年と裏年で個葉の大きさが異なることが観察され、果実1個当たり葉量が一定ではないことが懸念される。しかしながら、樹相の違いと葉の大きさの変動について報告がなく、各樹相に対応する摘果基準が策定されていない。また、摘果作業を行う上で果実1個当たり葉数を把握するためには葉数を数える必要があり、多大な労力がかかる。通常は経験により目視で確認されるが、個人差が生じやすく、初心者には難しい。

摘果基準には、葉果比の他に、樹冠容積当たり収穫数が用いられる場合がある。藤原・井上(2008)は、‘はるみ’において樹容積(m³)当たり着果数が20~25の範囲でLや2L階級の果実が増え、次年度の着花が安定すると報告している。一方で、樹冠容積が大きい樹では着果数を把握するのに労力を要し、この着果基準においても経験により感覚的に摘果が行われる。

このように、‘はるみ’では、経験の浅い作業者にも利用可能な摘果基準が必要とされている。そこで本研究では、葉果比を基準とした摘果において葉数を簡易に把握することを目的に、枝径と葉数あるいは葉重との関連を調査した。さらに、枝径を指標にした摘果が果実品質や翌春の着花数に及ぼす影響を明らかにしたので報告する。

3-2 材料および方法

静岡市清水区興津中町の農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域の圃場に栽植された、6～10年生カラタチ台‘はるみ’樹を供試し、2016年から2019年にかけて試験を実施した。供試樹の樹冠容積は2016年の4樹が4.2～8.1 m³の範囲にあり、平均5.9 m³だった。また、2017年と2018年の16樹が2.0～16.1 m³の範囲にあり、平均7.5 m³だった。いずれの年も、樹勢が極端に強い、あるいは弱い樹は含まれていなかった。病虫害防除は静岡県の防除暦に従い、窒素施用量は10a当たり年間30 kgとした。剪定は、枝の交錯が顕著となった2017年に間引きを主体に実施した。また、着花の状態は開花期の5月中旬に5段階（1：少，2：やや少，3：並，4：やや多，5：多）で達観により判定し、着花指数とした。樹冠容積は、新梢伸長後に樹高および樹幅（列間方向，および樹間方向）を測定し、樹高×樹幅（列間方向）×樹幅（樹間方向）×0.7の式を用いて算出した。着果数は、粗摘果数，仕上げ摘果数，収穫数の合計値とし、樹冠容積で除して樹冠容積1 m³当たり着果数とした。収穫数と収量についても樹冠容積1 m³当たりの数値で示した。また、仕上げ摘果における樹相の判別は、樹冠容積当たり着果数に基づき、100未満を裏年，100～200を標準，201以上を表年とした。

摘果の際の枝径の判別は摘果補助具（瀧下，2020）を用いて行い（第5図），判定に用いる半円の大きさは樹相，粗摘果，仕上げ摘果など対象や目的に応じて変更した。また，目的とする枝径を判別する際は，摘果補助具の半円を枝の先端から基部に向かってずらしていき，半円が隙間なくはまる位置にきたとき（第5図中央），その位置を目的とする枝径と判別した。果実数は，後述する試験で明らかとなる摘果基準としての枝径の位置から先端部分（外側）

において、残す果実数が設定した値になるよう制限した。なお、摘果に際しては、傷果、極大果、極小果および直果を優先的に除去し、有葉果で形が整い大きさが標準的な果実を残した。

収穫はいずれの年も12月中旬に行い、すべての果実重を電子天秤で測定した。また、収穫数、平均果実重、および階級Lから2Lに区分される180~250gの果実の個数割合を算出した。データの平均値、分散分析、多重検定、ヒストグラムの作成は、パソコン用ソフトウェアExcel統計((株)社会情報サービス)を用いて計算した。

1. 葉果比に基づく枝径を用いた摘果基準の算出

2016年7月中旬に、標準樹相を示す10年生‘はるみ’4樹(樹冠容積当たり着果数が平均148.5個)を供試し、直径0.3~1.5cmの枝を1樹当たり平均6本サンプリングし、枝基部の最大直径を測定した。その後、新葉と旧葉をすべて枝から取り離し個葉重を電子天秤で秤量し、葉数と総葉重を算出した。得られたデータの解析にはパソコン用ソフトウェアExcel 2000(日本マイクロソフト(株))を用い、枝径(X)と葉数(Y_1)、または葉重(Y_2)との関係を累乗式 $Y=AX^B$ (1)にあてはめ、係数A、B、相関係数rを計算した。また、一定の葉数、あるいは葉重 Y_0 に相当する枝径 X_0 は上記式を変形し $X_0=10^{\{(\log Y_0 - \log A)/B\}}$ (2)により計算した。上記試験結果に基づき粗摘果の基準を直径 $X_0-0.1$ cmの枝に果実1個着果、仕上げ摘果の基準を直径 X_0 cmの枝に果実1個着果、として設定した。さらに、得られた摘果基準を6年生標準樹相(樹冠容積当たり着果数124.5)2樹と裏年樹相(樹冠容積当たり着果数58.7)3樹に適用し、7月中旬に粗摘果を、8月下旬に仕上げ摘果を行った。

2. 樹相別の個葉重分布、枝径と葉重の関係および枝径に基づく摘果

2017年7月中旬に、7年生カラタチ台‘はるみ’16樹を用い、着花指数が3以上の樹で直径0.7cmの枝に果実1個着果、着花指数が1~2の樹は同様に2個着果、を基準として粗摘果を行った。いずれの樹相においても樹冠容積当たり粗摘果数を調査し、仕上げ摘果時の樹相判別に使用した。仕上げ摘果時の樹相判別では、樹冠容積当たりの数値で仕上げ摘果数を5、収穫数を25と想定し、両者の合計30を粗摘果数に加えて着果数を推定した。この推定値が100

(粗摘果数 70) 未満を裏年, 100~200 (粗摘果数 70~170) を標準, 201 (粗摘果数 171) 以上を表年とした. また, 2016 年と同じ方法で各樹から枝を採取し, 枝径とすべての個葉重を測定し, 樹相ごとに個葉重のヒストグラムを作成した. 枝径と葉重との関係については累乗式 (1) にあてはめて係数を算出した. 得られた係数から表年と標準樹相における果実 1 個分 (葉重 35 g) に相当する枝径を, 裏年樹相では果実 2 個分 (葉重 70 g), および果実 3 個分 (葉重 105 g) に相当する枝径を (2) 式を用いてそれぞれ計算した. 得られた枝径を考慮し, 2017 年の仕上げ摘果の基準を, 表年が直径 0.9 cm の枝に果実 1 個着果, 標準が直径 0.8 cm の枝に果実 1 個着果とした. 裏年樹相では直径 1.2 cm の枝に果実 2 個着果とし, いずれの樹相も 8 月下旬に仕上げ摘果を行った.

3. 摘果基準の改善と樹相に応じた摘果基準が樹体・果実生育に及ぼす影響

2018 年は 8 年生カラタチ台 ‘はるみ’ 9 樹を用い, 粗摘果の基準を表年樹相で直径 0.8 cm の枝に果実 1 個着果, 標準樹相と裏年樹相の着果が多い部位で直径 0.7 cm の枝に果実 1 個着果, 裏年樹相の着果が少ない部位で直径 0.7 cm の枝に果実 2~3 個着果と設定して 7 月中旬に行った. 仕上げ摘果の表年と標準樹相における基準は 2017 年の方法に従った. また, 裏年樹相については, 直径 1.2 cm の枝に果実 2 個着果の基準に加えて, 着果が少ない部位では直径 1.4 cm の枝に果実 3 個着果させた. いずれも 8 月下旬に仕上げ摘果を行った. 2017 および 2018 年とも, 摘果率は, 着果数に対する摘果数の割合として計算した.

2018 年の試験では, 葉色, 果実横径, 果実品質および翌年の着花を調査した. 葉色は, 各樹の東西南北方向の新葉各 5 枚, 合計 20 枚を無作為に選び, 6 月から 11 月まで 1 か月おきに葉緑素計 (SPAD-502Plus, コニカミノルタ (株)) で測定した. 横径測定では, 各樹から標準的な大きさの果実 5 個を選び, 1 か月おきに果実の最大横径をノギスで測定した. 果実品質の調査では, 2018 年 12 月 11 日に各樹より 2L 階級 (果実横径 8.0~8.8 cm) の果実を 2 個サンプリングして常温で貯蔵した後, 翌年 1 月 4 日に平均果実横径 (D), 縦径 (L), 果径指数 (D/L), 果実重, 果肉歩合を常法により測定するとともに, 果汁の糖度と酸度を日園連糖

酸度分析装置（堀場製作所（株））で分析した。着花調査では、2019年5月に各樹から平均的な長さの結果母枝を5本選び、長さ、節数、および新たに発生した直花数、有葉花数、新梢数を調査した。

3-3 結果

1. 葉果比に基づく枝径を用いた摘果基準の算出

標準樹相の‘はるみ’において、枝径と葉数の関係を示す累乗式は他の式と比べて最も相関係数が高く、葉数100枚に相当する枝径は0.80 cmと計算された（第6図左）。また、枝径と葉重の関係は同様に累乗式で相関係数が高く、枝径0.80 cmの葉重は34.1 gと計算された（第6図右）。これらの結果に基づき、粗摘果の基準として直径0.7 cmの枝に果実1個着果、仕上げ摘果の基準として直径0.8 cmの枝に果実1個着果と設定して摘果を行った。この結果、標準樹相の樹において、収穫期の平均果実重は214 g、180～250 gの果実割合は75.1%だった。一方、同じ摘果基準を適用した裏年樹相では、平均果実重が279 g、180～250 gの果実割合が24.3%だった。このように、裏年樹相における果実サイズが目標よりも大きかったため、次年度以降、樹相に応じた摘果基準を策定することとした。

2. 表年、標準、裏年樹相における個葉重分布、枝径と葉重の関係

2017年に供試した‘はるみ’16樹は、粗摘果後の樹相判別において、4樹が表年、9樹が標準、3樹が裏年と判別された。各樹相における個葉重の分布状況は第7図のとおりである。表年樹相の新葉では0.2 g以下の占める割合が56%に達し、標準樹相の新葉では0.2～0.3 g、裏年樹相では0.3～0.4 gの間にピークが見られた。この結果、新葉の平均重は表年（0.17 g）が標準樹相（0.40 g）より有意に小さいことが認められた。旧葉は前年の春葉、夏葉、秋葉を含み、夏葉や秋葉の中には1 g以上のものも観察された。旧葉の平均重では、樹相間で有意差は認められなかった。全葉に対する新葉の割合は、表年樹相で62%（重量比39%）と最も少なく、裏年樹相で76%（重量比73%）と最も高かった（第7図）。

枝径と葉重との関係は、表年、標準、裏年のいずれも累乗式に近似し、有意な正の相関が認められた（第8図）。累乗式 $Y=AX^B$ において、標準樹相の係数 A は、2016年に10年生樹で得られた A 値と近い値を示した。表年および裏年樹相の係数 A は標準樹相より小さい値を示した。各樹相の係数 B は 2.2 から 2.5 の範囲内であった。

3. 仕上げ摘果の基準設定

2016年の試験結果から果実1個当たり葉重を35gと設定し、2017年は葉重35gに相当する枝径を樹相ごとに計算した。その結果、標準樹相では0.80cmで（第4表）2016年に得られた値と一致し、直径0.8cmの枝に果実1個着果、を摘果基準とした。表年樹相では同様に0.89cmと算出された（第4表）。裏年樹相では、同じ手法で果実2個分の葉重70g、果実3個分の葉重105gに相当する枝径を計算したところ、それぞれ1.17cmと1.38cmとなった（第4表）。そこで、着果がまばらな部位では、2017年と2018年は直径1.2cmの枝に果実2個着果、2018年に直径1.4cmの枝に果実3個着果を仕上げ摘果の基準として設定した。なお、2018年の試験樹は、粗摘果後の樹相判別により、表年3樹、標準2樹、裏年4樹に区別された。

4. 樹相に応じた摘果基準が摘果率、葉色、果実肥大、収量、果実特性、翌年の着花に及ぼす影響

2017年と2018年の摘果率は表年、標準、裏年で大きく異なり、表年で90%以上と高く、裏年では60%以下となり有意に低かった（第5表）。図表には示していないが、表年と標準樹相において葉色（SPAD値）は7月まで70以下で推移し10月に80に達した（データ略）。裏年樹相では7月に70に達し9月に80に達した。表年と標準樹相の果実横径は仕上げ摘果直後の9月に6cm以下で、収穫期においても8cm前後であった（データ略）。裏年樹相では仕上げ摘果直後に既に7cmを超え、収穫期には9cmに達した。

樹冠容積（ m^3 ）当たり摘果前着果数、収穫数、収量および平均果実重、180～250gの果実割合を第5表に示した。摘果前の樹冠容積当たり着果数は両年とも定義で定めたとおり樹相

間で有意な差が認められた。一方、樹冠容積当たり収穫数は2017年、2018年ともに樹相間で有意な差は認められなかった。また、樹冠容積当たり収量は2017年では樹相間で有意な差が認められなかったが、2018年では裏年樹相で他の樹相より有意に多かった。樹別平均果実重については、2017年には樹相間で有意な差が認められなかったが、2018年は裏年の平均果実重が他の樹相より有意に大きかった。また、重量180～250gの果実割合は2017年が表年と標準で70%以上となり、2018年は全樹相とも50%前後であった（第5表）。

果実重の分布状況は、両年ともに表年と標準樹相で果実重中央値の上下に同じ程度に分布していたが、裏年では中央値よりも大きい部分に広範囲に分布していた（第9図）。

果実横径を基準として2L階級に区分される果実の2018年の特性を第6表に示した。果実横径に有意差は認められなかったが、果実縦径は仕上げ摘果前の着果程度が小さいほど縦方向の生育が良好である傾向がみられた。この結果は、果実の扁平度を示すD/L値は表年が裏年よりも有意に大きくなり、表年樹相の果実は扁平であることを示している。また、平均果実重は、裏年樹相が表年と標準よりも有意に大きかったが、果肉割合、糖度および酸度は樹相間で有意な差が認められなかった。

前年の樹相および摘果基準が着花に及ぼす影響を第7表に示した。調査には各樹の平均的な長さの結果母枝を用いたが、樹相間で結果母枝長および節数に有意な差は認められなかった（データ略）。結果母枝当たりおよび1節当たりの有葉花数は、樹相間で有意な差が認められなかった。一方、直花数、および直花数と有葉花数の合計値である全花数は樹相により有意な差が認められ、前年の摘果前の着果程度が大きいほど多かった。

3-4 考 察

1. 枝径を利用した摘果

これまでに、瀧下ら（2010）は比葉面積（葉重当たり葉面積）が葉の大きさに関わらずほぼ一定であること、枝径と葉重や葉面積との間に有意な回帰関係があることを報告している。

これは、枝径を測定することで果実1個当たり葉量を簡易に推定できることを示唆している。そこで、本試験では、‘はるみ’において枝径と葉重の関係を樹相ごとに明らかにし、特定の枝径から葉数を推定することで葉果比を均一化し、摘果労力を軽減することを試みた。この基準は枝単位で適用されるため、樹齢増加に伴う樹冠無効容積の変化を考慮する必要が少なくと考えられる。また、本研究では、着花の達観評価をもとにした樹相判別で粗摘果を行った後、粗摘果数をもとに樹冠容積当たりの着果数を推定して再度樹相判別を行い、仕上げ摘果を行った。粗摘果数の調査は樹上の果実を数えるよりも労力がかからないと思われる。今後、この樹相判別法の省力効果についてデータを収集して明らかにする必要があるが、粗摘果数で簡易に樹相判別を行い、枝の太さから残す果実数を制限することで、初心者でも容易に仕上げ摘果を行うことが可能と考えられる。

2. 樹相に応じた着果管理

試験2年目（2017年）は樹相ごとに枝径と葉重との関係式を解析し、摘果基準を設けることとした。葉重35gに相当する枝径は標準樹相で0.80cmと計算され前年度とほぼ同じ値を示したが、表年樹相では0.89cmで異なる値となった（第4表）。このことは、表年樹相では個葉重が小さく、一定の葉重を確保するためには太めの枝を選ぶ必要があることを示している。一方、裏年樹相では着果部位が樹冠内で偏ることがあり、一定の太さの枝に複数個着果させる必要がある。そこで果実複数個に相当する枝径を計算し摘果基準として設定した。試験2年目は果実2個に相当する枝径を摘果基準として設定したが、平均果実重が目標とする値よりも大きかった。このことから、着果数を増やして果実重を目標に近づけるため、試験3年目は果実3個に相当する枝径を摘果基準として追加した。なお、作業は枝径を簡易に判定することができる摘果補助具（瀧下，2020）を用いたため、葉数を数える必要がなく省力化が可能であった。

3. 枝径に基づく着果管理法が収量、果実特性および翌年の着花に及ぼす影響

本研究の結果から、樹冠容積当たり収量は、2018年の表年や標準樹相で裏年樹相よりも有

意に少ない結果となった(第5表)。表年樹相では新葉が少なく小さいことから、光合成能力が相対的に低かったことが原因と考えられる。また、2018年の標準樹相は、摘果前の樹冠容積当たり着果数が約190で、果実肥大や平均果実重が表年樹相に近い傾向を示した(第5表)。今後摘果の精度をあげるためには、境界付近で摘果基準を細かく設定するなど詳細な検討が必要である。一方、果実形質については、調査個数が少ないものの糖度や酸度に樹相間で差異は認められず(第6表)、摘果が適正に行われた結果、樹相間のばらつきが減少したものと考えられた。

‘はるみ’本来の品質を示す大きさは、200g程度であると報告されている(吉田ら、2000)。また、2Lサイズで品質が良好であったとの報告がある(久松ら、2005)。2L階級の果実は横径が8.0~8.8cmで、重量がおおよそ200~260gに相当する。一方、果実サイズが大きいと浮皮発生程度が高くなることから、果実重180~250gの果実が高い商品価値を有すると考えられた。このため、本研究では、Lから2Lに属し果実品質が優れる180~250gの果実割合を調査した。この結果、標準樹相において、この割合が50%以上の割合を維持することが認められたことから、本摘果手法が標準樹相において適切であったと考えられる。また、裏年樹相ではこの割合が2016年から2018年にかけて上昇しており、このことは、裏年樹相における本摘果法の設定の変更が理想的な果実重の割合の上昇に効果があったと推察される。なお、表年樹相では、2017年に高い値を示したが、このことは剪定により光環境が改善されるとともに新梢が適度に発生し、果実肥大が促進されたものと推察された。

本摘果基準を適用した樹の翌年における着花数の調査では、調査した結果母枝数が少なかったものの、全花数において樹相による有意な差が検出された(第7表)。本実験では、表年樹相の樹では90%以上の果実を除去し、かなり強めの摘果になっていたと考えられる。この強めの摘果により花芽分化が促進され、前年表年樹相の樹における着花数の増加につながったと推察される。一方、裏年樹相では、本摘果法により摘果率が60%以下に抑えられ、また、樹冠容積当たりの収量が表年および標準樹相のもの比べて有意に多かった(第5表)。この

ことから、同化養分が果実に多く分配されて花芽分化が抑制され、前年裏年樹相の樹で翌春の着花が少なくなったと推察される。これまでに、‘はるみ’は着生した花の結実性が良好で（吉田ら、2000）、着果率は有葉花が 55.8%、直花が 33.3%、全花が 47.5%でウンシュウミカンより高いとの報告がある（久松ら、2005）。本試験の前年裏年樹相では、結果母枝当たり 2 個以上の有葉花が観察されており（第 7 表）、55.8%の着果率としたとき、結果母枝当たり 1 個以上着果する計算になる。このため、花が少なかった前年裏年樹相においても、一定の収量を確保することが可能と考えられた。なお、今回の試験では、摘果後に夏秋梢の発生がほとんど観察されなかった。その理由として、施肥量が‘はるみ’としては少ないこと、耕土が浅く痩せ気味であったこと、夏季に降水量が少なかったことなどがあげられる。一方で、翌年の夏枝母枝の着花は良好であることが報告されており（久松ら、2005）、安定生産のためには夏枝が多少発生するような養水管理が必要と考えられる。また、隔年結果に対する影響は、同一樹で複数年にわたって調査する必要があると考えられる。本研究では、単年度の結果のみを示しているため、今後、同一樹において連年で本摘果法を用いたときの着花（果）量や、収量の変化を調査し、隔年結果性に対する影響を確認する必要がある。

本研究では、葉重 35 g に対する枝径を基準にしている（第 4 表）。このため、同じ樹相であっても個葉重が異なる場合は、基準となる枝径が変わると考えられる。一例を示すと、2009 年に香川県で得られたデータを解析したところ、標準樹相の樹において、葉重 35 g に相当する枝径は、2016 年と 2017 年に本試験で得られた標準樹相における値とほぼ一致した（未発表データ）。このことから、標準樹相では、異なる年次や栽培地域でも葉の大きさや密度が一定であることが示唆され、本試験の摘果基準は広く適用可能と思われた。一方、2009 年の香川県における裏年樹相では、個葉重が本試験のものより大きかったため、葉重 35 g に相当する枝径（0.72 cm）は本試験の値（0.88 cm）より小さかった（未発表データ）。このように、裏年樹相における葉の状態は、栽培条件や気象条件により大きく異なることが想定される。今後は、標準樹相と比べて明らかに葉の状態が異なる裏年樹相においては、新たに基準となる

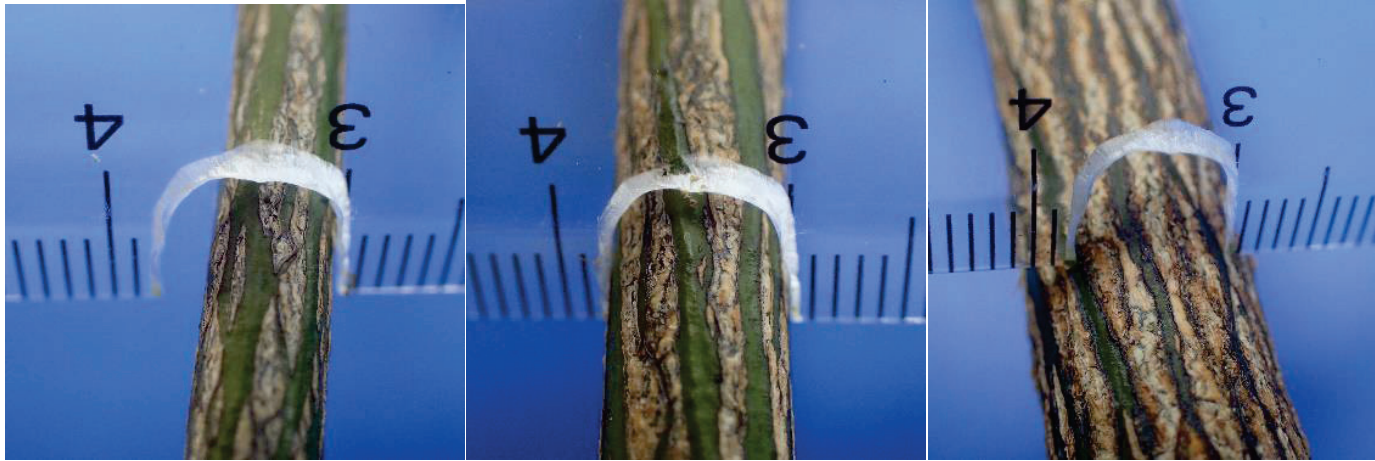
枝径を設定して摘果を行い、果実サイズに及ぼす影響を調査する必要がある。なお、着花指数が1以下で生理落果後の着果がほとんどみられない極端な裏年樹相において、翌年の着花過多を防ぐため原則として摘果せず、可能な限り着果数を確保することが重要と考えられる。一方、表年樹相の枝径と葉重の関係については単年度のみ調査ではあるが、本試験で見られたように小さい葉が多い表年樹では、本研究で用いた枝径を摘果基準として利用できると思われる。ただし、強度の表年樹相を示し新葉がほとんど発生せず旧葉が黄化している樹では、全摘果して施肥・灌水を十分行うなど、樹勢回復の対策をとる必要がある。一方、摘果時期に関して、本試験では粗摘果を7月、仕上げ摘果を8月下旬に設定して試験を実施したが、粗摘果を6月中下旬から実施したり、仕上げ摘果を9月から10月まで段階的に行う生産者も見受けられる。今後、摘果時期が異なる栽培体系において、本摘果基準が適用可能であるかどうか検討する必要がある。

以上の結果から、枝径を基準として樹相に応じた着果管理を行うことにより適正な摘果率が得られ、商品価値が高いサイズの果実の割合を増加できることが示された。本手法では、裏年樹相において、樹冠内の着果のばらつきに応じて、摘果基準となる枝径と残す果実数を変える必要がある。この作業は初心者にとってわかりにくい作業であるため、現在、摘果基準となる枝径を太くして側枝単位で適用するなど、単純化に向けての改良を進めているところである。

3-5 摘要

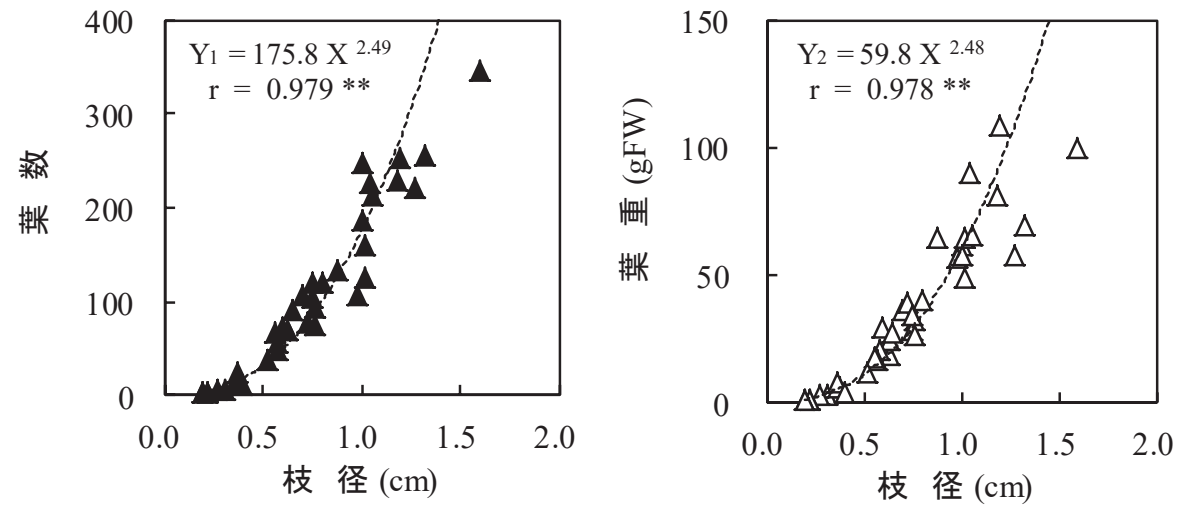
カンキツ‘はるみ’において枝径と葉重の関係に基づき摘果基準（枝径）を策定し、生産性と果実特性に及ぼす影響を評価した。枝径 X と葉重 Y の関係は $Y=AX^B$ の数式で示された。この式の係数に基づき標準樹相の葉数 100 に相当する枝径を計算し、葉果比 100 に対応する摘果基準として樹相ごとに設定した（例；0.80 cm の枝に果実 1 個着果）。これら摘果基準を各樹相に適用した結果、摘果率は着果量に応じて 91.4% から 57.2% に分散し、樹冠容積当たり

収穫数は樹相間で有意差がなかった。商品価値が高いとされる 180 g~250 g の果実割合は標準樹相で 50%以上を維持し、裏年樹相で摘果基準の改良に伴い改善された。翌年の着花は継続的な生産を行うのに支障のない値を示した。以上のことから、樹相に応じた摘果基準として枝径を適用することにより、‘はるみ’の適正な着果数管理が行われ、商品価値の高いサイズの果実を生産することが可能であることが示された。



第5図 ‘はるみ’の摘果補助具による枝径判定の様子

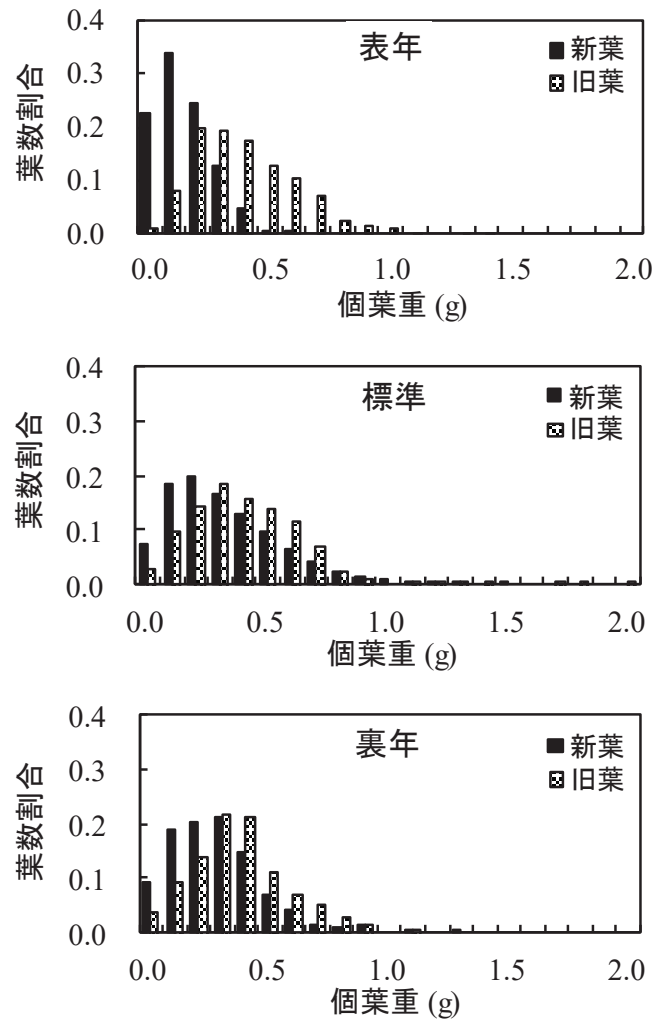
(補助具の半円は直径0.8 cmで、左の枝は細過ぎる、中央は適正、右の枝は太過ぎる)



第6図 ‘はるみ’ の枝径と葉数（左），葉重（右）との関係（2016）

数式と破線は回帰曲線を示す

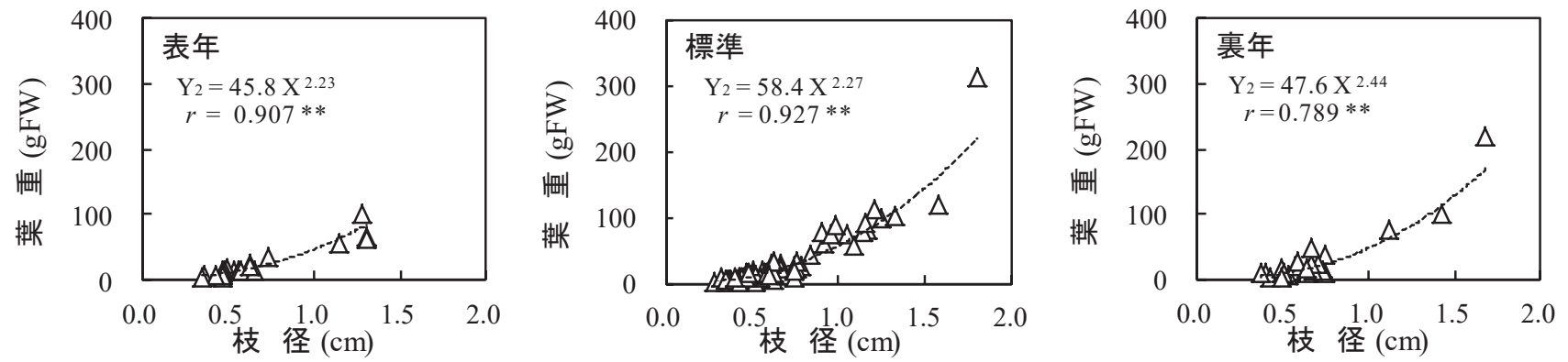
r は相関係数を示し，** は1%水準で有意性があることを示す（n=26）



第7図 ‘はるみ’ の表年，標準，裏年樹相の個葉重分布（2017）

調査は粗摘果時の7月中旬に実施

調査数は表年，標準，裏年の順に新葉 615, 1970, 870, 旧葉 371, 819, 274

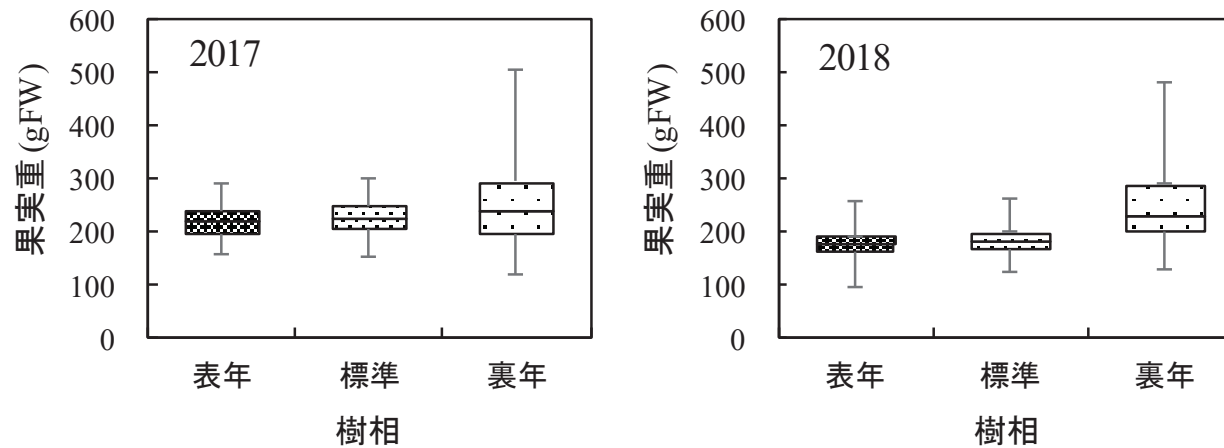


第8図 ‘はるみ’の表年，標準，裏年樹相における枝径と葉重の関係（2017）

数式と破線は回帰曲線を示す

rは相関係数を示し，**は1%水準で有意性があることを示す

調査数は表年，標準，裏年の順に 21，69，27



第9図 ‘はるみ’ の表年，標準，裏年樹相における果実重分布（2017，2018）

箱上下の縦線は果実重の最大値と最小値，箱中央の横線は果実重の中央値，上下の箱は果実重の分布 25% 範囲を示す

調査数は表年，標準，裏年の順に 2017 年 98，254，399，2018 年 272，175，200

樹相は樹冠容積当たり着果数により判別し，表年で直径 0.9 cm の枝に果実 1 個着果，標準と裏年の着果が多い部位で直径 0.8 cm の枝に果実 1 個着果，裏年の着果がまばらな部位で直径 1.2 cm の枝に果実 2 個着果（2017，2018），直径 1.4 cm の枝に果実 3 個着果（2018）の基準で摘果した

第 4 表 一定の葉重に対応する摘果基準としての枝径（2017）

樹相	枝径 ^z (cm)		
	葉重 35 g (果実1個)	葉重 70 g (果実2個)	葉重 105 g (果実3個)
表年	0.89	-	-
標準	0.80	-	-
裏年	0.88	1.17	1.38

^z第 4 図の枝径と葉重の関係式 $Y_2=AX^B$ の係数から算出

第 5 表 樹相に応じた着果管理法が‘はるみ’の摘果率，収量，果実重に及ぼす影響（2017，2018）

年	樹相 ^z	樹冠容積 当たり着果数 (個・m ⁻³)	摘果率 (%)	樹冠容積 当たり収穫数 (個・m ⁻³)	樹冠容積 当たり収量 (kg・m ⁻³)	平均 果実重 (g)	果実重 180～250 g の割合 (%)
2017	表年	253 a ^y	92.6 a	18.7	4.3	231	78.6
	標準	149 b	86.3 b	20.6	4.6	228	70.5
	裏年	54 c	58.4 c	21.8	5.6	259	39.1
2018	表年	246 a	90.2 a	23.9	4.4 b	184 b	46.7
	標準	190 b	87.4 a	23.9	4.4 b	183 b	54.3
	裏年	63 c	56.0 b	26.8	6.7 a	251 a	48.5

^z 直径0.9 cm（表年），0.8 cm（標準，裏年の着果が多い部位）の枝に果実1個着果，裏年の着果がまばらな部位は直径1.2 cmの枝に果実2個着果（2017, 2018），直径1.4 cmの枝に果実3個着果（2018）

^y 同一年，同一列内の異なる文字間でTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第 6 表 樹相に応じた着果管理法が‘はるみ’の果実形質に及ぼす影響 (2018) ^z

樹相 ^y	果実横径 (D) (cm)	果実縦径 (L) (cm)	D/L	果実重 (gFW)	果肉歩合 (%)	Brix (%)	酸度 (%)
表年	8.2	6.1 b ^x	1.35 a	199 b	79.1	13.3	1.85
標準	8.1	6.4 b	1.26 ab	201 b	77.8	13.6	1.65
裏年	8.5	7.1 a	1.20 b	236 a	76.4	13.2	1.67
分散分析 ^w	NS	**	*	**	NS	NS	NS

^z 2018年12月11日に2Lサイズ (果実横径8.0~8.8 cm) の果実を各樹から2個採取し, 翌年1月4日に分析

^y 直径0.9 cm (表年), 0.8 cm (標準, 裏年の着果が多い部位) の枝に果実1個着果,
裏年の着果がまばらな部位は直径1.2 cmの枝に果実2個着果, 直径1.4 cmの枝に果実3個着果

^x 同一列内の異なる文字間でTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

^w **, * は1%, 5%水準で有意性があり, NSは有意性がないことを示す

第 7 表 樹相に応じた着果管理法が‘はるみ’の翌年の着花に及ぼす影響 (2018-2019)

前年の樹相 ^z	結果母枝当たり発生数 (2019)				一節当たり発生数 (2019)			
	直花	有葉花	全花	新梢	直花	有葉花	全花	新梢
表年	8.1 a ^y	3.2	11.3 a	1.1	1.18 a	0.59	1.77 a	0.15
標準	3.9 ab	5.5	9.3 a	1.9	0.56 b	0.69	1.25 b	0.21
裏年	0.4 b	2.8	3.2 b	2.7	0.05 c	0.34	0.39 c	0.35
分散分析 ^x	**	NS	**	NS	**	NS	**	NS

^z直径0.9 cm (表年) , 0.8 cm (標準, 裏年の着果が多い部位) の枝に果実1個着果,
裏年の着果がまばらな部位は直径1.2 cmの枝に果実2個着果, 直径1.4 cmの枝に果実3個着果

^y 同一列内の異なる文字間でTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

^x**は1%水準で有意性があり, NSは有意性がないことを示す

第4章 カンキツ‘はるみ’における貯蔵中の障害果発生に及ぼすポリエチレン包装と果実サイズの影響

4-1 緒言

カンキツ‘はるみ’（清見×ポンカン）（‘Kiyomi’ tangor (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × ponkan (*C. reticulata*)) は、農研機構（農業・食品産業技術総合研究機構）により育成された品種で、1999年に品種登録された（吉田ら、2000）。2017年の栽培面積は471 ha、生産量は5626 tに達し、主に広島県、愛媛県、静岡県などで生産されている（農林水産省生産局園芸作物課、2017）。「はるみ」の収穫期は栽培適地において1月で、貯蔵後の減酸状況に応じて出荷時期が決められるため出荷時期は2月から3月である。しかし、1月に頻繁に寒波に見舞われる地域や、収穫予定期に寒波の襲来が予想される年は、予定よりも早期に収穫する必要性が生じる（Takishitaら、2008）。また、地球規模での温暖化の進行等による秋冬季の高温はクラッキングや水腐れなどの果皮障害を助長するため、早期の収穫が求められる（瀧下、2020）。一般的に収穫時期が早まると果実の酸度が高い状態で収穫される傾向にある。また、小さいサイズの果実（久松ら、2005）や夏季に強い水ストレスを受けた場合にも酸濃度が高い傾向がみられる。果汁中の酸濃度は、収穫後、貯蔵中に徐々に減少するため、収穫時に酸が高かった果実は、適切な酸濃度になるまで貯蔵することで出荷することができるようになる。このように、今後、「はるみ」において、酸高果実が増加することが予想され、長期間の貯蔵が求められる可能性がある。

‘はるみ’は、果実サイズがばらつきやすい特徴がある。また、果実糖度と酸度は小さい果実で高く、減酸を考慮すると2Lで優れるとされるが、Lサイズ以上の果実では1月中旬に粒化症が発生するとの報告がある（久松ら、2005）。著者らのこれまでの研究において（Takishitaら、2019）、常温で5月中旬まで貯蔵した‘はるみ’果実のうち、M、L階級で果皮の萎凋と浮皮が顕著であること、4L階級で果肉のす上がりが問題となることを明らかにした。これらの

結果は、果実の大きさにより障害果の発生程度が異なることを示唆している。

カンキツは甘夏、ネーブルオレンジ、清見など果皮と果肉が密着している緊皮性カンキツとウンシュウミカンや‘はるみ’のように果皮と果肉が離れやすい寛皮性カンキツ（マンダリン類）に分けられる。緊皮性カンキツは高湿度条件下の貯蔵に適しており、川野ナツダイダイ（甘夏）においてポリエチレン（PE）包装の有用性が報告されている（稲葉，1969；富永ら，1982）。また，‘不知火’および‘せとか’においても，貯蔵性向上を目的としたPE個装（中畠，2014），および，MA包装（相川ら，2013；榊ら，2013）が行われている。一方，寛皮性カンキツは収穫後，比較的短期間で風味等の品質劣化が起りやすいとされ，ウンシュウミカンにおいて最適な温度条件が検討されている（松本，2014）。また，ウンシュウミカンにおいて高湿度条件下で浮皮が発生しやすいことや（河瀬ら，1984），‘はるみ’において，PE包装により粒化症が発生するとの報告がある（安竹，2015）。このため，袋内が高湿度に保たれるPE包装は‘はるみ’では注意を要する（中畠，2014）。しかしながら，その他の障害果の発生程度について報告が限られる。そこで，本研究では，各サイズの‘はるみ’果実において，PE包装の有無，包装時期および期間が果実品質と障害果発生程度に及ぼす影響を調査した。

4-2 材料および方法

1.材料

静岡市清水区興津中町にある農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域内の圃場に栽植された8～11年生カラタチ台‘はるみ’16本を供試し，2017年から2020年にかけて試験を行った。調査樹の剪定は間引きを主体に行い，摘果は葉果比100を設定して行った。病害虫管理は静岡県の防除暦に従い，施肥は年間窒素施用量を $30\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ とし4回に分けて施用した。果実は寒害による影響を避けるため12月中旬に収穫し，果実の直径により以下の基準で各階級に選別した：S（6.1～6.7 cm），M（6.7～7.3 cm），L（7.3～8.0 cm），2L（8.0～8.8 cm），

3L (8.8~9.5 cm), 4L (9.5 cm 以上). 2017年12月18日あるいは2018年12月11日に収穫した果実は、それぞれ2018年1月23日あるいは2018年12月18日まで常温で貯蔵した後、試験に供試した。果実は高さ18 cmのプラスチック製貯蔵箱に入れ、直射日光が入らない貯蔵庫において常温で貯蔵した。

2. ポリエチレン包装処理

PE包装区の果実は幅25 cm, 縦35 cm, 厚さ0.02 mmのポリエチレン袋に果実を2個から3個入れ、開口部を2回から3回ひねり貯蔵箱に入れた。また、貯蔵箱上部とPE袋内に温湿度計(Thermo Recorder TR-72nw, ティアンドデイ(株))を設置し、30分間隔で温湿度を自動測定した。2017年12月に収穫した果実について、各階級5個(4Lのみ3個)を無包装区とポリエチレン(PE)包装区に使用した。PE包装区では、2018年1月23日に包装を開始し、5月中旬まで貯蔵した。2018年12月に収穫した果実は、各階級3個を無包装区、前期包装区、後期包装区、全期間包装区に分けて、2018年4月中旬まで貯蔵した。2018年12月18日に前期および全期間包装区でPE包装を開始し、2019年2月19日に前期包装区の果実を袋からとり出し、その後無包装で貯蔵した。また、2019年2月19日に後期包装区でPE包装を開始し、2019年4月中旬まで貯蔵した。

3. 果実品質の調査

処理開始前(2018年1月22日および2018年12月18日)に果実の重量を電子天秤で測定した。2018年5月18日~21日および2019年4月15~16日に貯蔵を終了し、果実品質の調査を行った。果実重を測定した後、電子天秤上に水が入った容器を置き、果実を沈める枠を一定の高さまで沈めて天秤の値を0とし、果実を同じ位置まで沈めて天秤の値を計測して浮力とした(農林水産省果樹試験場興津支場, 1987)。また、水の比重を $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ と仮定し、浮力を果実体積とした。果実の比重は果実重を果実体積で除して計算した。その後、剥皮して果肉重量を測定し、果肉歩合を計算した。果肉はレモン絞り器で搾汁し、茶こしで固形物を除去したのち、日園連糖酸度分析装置(堀場製作所(株))で果汁のBrixとクエン酸濃度を測

定した。

4. 障害果発生度の調査

果肉は赤道面で横断し、肉眼での観察により障害果の発生程度をカンキツの調査方法（農林水産省果樹試験場興津支場，1987）に準じて調査した。果皮の萎凋（第10図A）、浮皮（同B）、果肉のす上がり（同D）については、6段階（0：健全，1：微，2：少，3：中，4：多，5：甚）で、果肉崩壊（同C）については、4段階（0：健全，1：少，2：中，3：多）で判定した。ただし、3L、および4L階級の果実において、果芯付近で砂じょうが大型化して細胞壁が肥厚し、白色化する症状が観察される例もみられた。これは粒化症とす上がりが同時発生したと判断し、砂じょうの萎縮と黄色化の面積により、す上がり程度を判定した。

得られたデータから平均値を算出するとともに、パソコン用ソフトウェアExcel統計（社会情報サービス（株））を用いて、2元配置または1元配置の分散分析を行い、Tukeyによる処理区内多重検定を行った。また、2018年5月と2019年4月の全果実データを用いて減量歩合、体積増減率、果実比重と障害果発生程度との相関関係を計算した。得られた相関係数について、F検定により5%および1%水準で有意性を検定した。

4-3 結 果

1. 貯蔵中の温湿度の推移

貯蔵箱およびPE袋内の温度は無包装区とPE包装区ではほぼ同じ値を示し、平均気温は2018年の箱内が13.0℃、PE袋内が13.1℃、2018～2019年が両区ともに10.4℃であった（第11図）。無包装区において、日平均湿度は天候の影響を受け変動が大きく、2018年の最高値と最低値がそれぞれ98.5%および35.9%、2018～2019年は同様に91.7%および36.0%だった。また、昼夜間差も大きく、夜間高湿度、日中低湿度で推移した（データ省略）。期間を通しての平均湿度は2018年が70.5%、2019年が61.5%であった。一方、PE袋内の平均湿度は2018年が99.7%、2019年が99.1%で、日変動、および昼夜間差は小さかった（第11図）。

2. 果実サイズおよび PE 包装の有無が果実品質に及ぼす影響

貯蔵中に発生した腐敗果は無包装区の L サイズが 1 個、PE 包装区の M, L, 3L サイズがそれぞれ 3 個、1 個、2 個で、PE 処理間で有意な差は認められなかった。残った果実について行った果実品質調査の結果を第 8 表に示す。果実重量は無包装区で約 20%減少した。無包装区における減量歩合は、果実サイズによって有意な差は認められなかった。PE 包装区における減量歩合は、いずれのサイズでも 2%台を示し、無包装区のものとは比べて有意に低かった。貯蔵後の果実体積は無包装区で 5~18%減少した。これに対し、PE 包装区の果実体積は 2~14%増加し、PE 包装の有無で有意な差がみられた。一方、果実体積増減率において、果実サイズによる差は認められなかった。貯蔵後の果実比重は、包装の有無に関わらず、果実サイズが大きくなるほど低下した。また、PE 包装区では無包装区よりも有意に高かった。

果肉歩合は PE 包装の有無と果実サイズの両方の影響を受けた。PE 包装区は無包装区より、また、小さいサイズの果実は大きいものより果肉歩合が高かった。果汁中の Brix は、PE 包装区でのみ果実サイズによる違いが認められた。また、PE 包装区の Brix は無包装区のものよりも有意に低かった。一方、果汁中の酸度は、PE 包装の有無と果実サイズ間で交互作用が認められた。すなわち、無包装区の M サイズの酸度は 0.60%を示し、2L サイズの 0.43%と比べて有意に高かったが、PE 包装区では果実サイズによる有意差は検出されなかった。

各処理区における障害果の発生程度を第 9 表に示す。果皮の萎凋は、PE 包装により、また、果実サイズが小さいほど抑制された。浮皮は無包装区において果実サイズの影響が大きく、3L および 4L サイズで 2 以上となり、M および L サイズと比べて有意に高かった。果肉崩壊は無包装区の小さなサイズの果実で観察されたが、有意差は認められなかった。す上がりは無包装区の 2L 以上のサイズで 2 以上の値を示した。このような果実では、砂じょうの乾燥が進み、内部に空洞が生じて萎縮し、果肉色は橙色から黄白色に変化していた（第 10 図 D）。PE 包装区ではこの症状がほとんどみられず、す上がりが顕著に抑制された。

3. PE 包装時期と期間が果実品質に及ぼす影響

貯蔵中に発生した腐敗果は後期包装区の M, L サイズがそれぞれ 1 個で, PE 処理間に有意な差は認められなかった。腐敗しなかった果実についての果実品質調査結果を第 10 表に示す。果実の減量歩合は無包装区が最も高く, 次いで前期および後期包装区, 全期間包装区の順だった。貯蔵後の果実体積は, 貯蔵前と比べて無包装区で 25%減少したのに対し, 全期間包装区では 6%増加した。また, 前期および後期包装区ではいずれも体積が減少しており, 果実体積増減率は後期包装区より前期包装区で有意に低かった。貯蔵後の果実比重は, 後期包装区で無包装区および前期包装区よりも有意に低かった。

果肉歩合は, 後期包装区と全期間包装区が前期包装区よりも有意に低かった。果汁中の Brix の平均値は無包装区, 前期および後期包装区, 全期間包装区の順に高く, 無包装区は前期および全期間包装区よりも, また, 前期包装区は全期間包装区よりも有意に高かった。酸度では処理区による有意な差が認められなかった。

果皮の萎凋は, 後期包装区と全期間包装区で無包装区および前期包装区に比べて有意に抑制された (第 11 表)。また, 前期包装区における果皮萎凋の程度は, 無包装区のものより有意に低かった。浮皮発生程度は, 後期包装区が無包装区よりも有意に高かった。果肉崩壊とす上がりの程度において, 処理間の有意な差は認められなかった。

4.減量歩合, 体積増減率, 果実比重と果実障害発生程度との関係

果皮の萎凋において, 減量歩合および果実体積増減率との間にそれぞれ正あるいは負の強い相関が認められた。浮皮においては, 果実比重, 体積増減率, 減量歩合のいずれの要素とも有意な相関が認められ, 特に果実比重と強い負の相関を示した。果肉崩壊は減量歩合と正の相関を, す上がりは果実比重と負の, 減量歩合と正の相関を示した (第 12 表)。

4-4 考 察

1. PE 包装による果皮萎凋の抑制

カンキツ果実は貯蔵中に水分の蒸散で果皮が萎凋し重量が低下する (伊庭, 1978)。蒸散作

用は温度が高く湿度が低いほど促進される。本試験においても無包装での貯蔵で重量損失が認められており、これは貯蔵中の平均気温が 10℃を超え、湿度が 60～70%で推移したことが原因と考えられる。これに対し、PE 包装区では湿度が高く維持され、貯蔵期間の半期を無包装としても、減量抑制効果がみられた。

貯蔵中の果実体積の増減に関しては、ウンシュウミカンにおいて相対湿度が 97%以上で増加するとの報告がある（河瀬，1984）。本試験において全期間 PE 包装区で果実体積が増加することが観察された。これは、PE 包装内の湿度が 100%に近い状態になっており、果皮が膨潤したことが原因と思われる。一方、無包装区においては果実体積が減少しており、これは果皮からの水分損失により果皮や果肉が収縮したものと思われる。

果皮の萎凋は、果実の重量および体積の減少が小さいほど抑制された（第 12 表）。PE 包装には果実重量の減少を抑え、果実体積を増加させる効果があり、このことが果皮萎凋を抑制させたと考えられた。また、果皮の萎凋と果実比重との間に正の相関関係が認められた。果皮萎凋と果実サイズとの関係について、5 カ月貯蔵の無包装区において M, L 果で 1 以上、2L 以上で 1 以下となり、小さい果実で果皮の収縮程度が大きかったものと推察される。

2. 浮皮の発生と果実比重との関連

横尾ら（1963）によると、果実比重は浮皮空間の他に果皮と果肉の比重によって影響を受けるため、浮皮空間として浮皮%を測定し、果実比重との関連を明らかにした。本試験においては果実比重を測定しており、果皮と果肉の間の空隙以外に、果皮と果肉の比重が反映されているものと考えられる。果実の比重は、貯蔵前において小さい果実で高い傾向がみられることが報告されている（久松ら，2005；Takishita ら，2019）。本試験では、貯蔵後の果実比重を調査したが、貯蔵前と同様、小さい果実で比重が高い傾向が認められた。また、ウンシュウミカンにおいて、ポリエチレン包装区では紙袋包装区より比重が低下し、浮皮が増大したとの報告がある（河瀬，1984）。本試験における 5 カ月貯蔵では、PE 包装区と比べて無包装区で比重の低下が顕著であった。これは貯蔵期間が長く、蒸散作用により果肉内の水分も

損失し、体積の減少以上に重量の減少が大きかったためと考えられる。また、果実比重と浮皮発生程度は強い負の相関関係を示し（第 12 表）、3L と 4L の果実は果実比重が 0.7 以下で浮皮発生程度は 2 以上となった。このことから、果実サイズが大きいほど果皮と果肉の間に間隙が生じやすいものと推察される。

PE 包装区においては、高湿度条件により果実内の水分損失が抑制され、果実全体の比重下が抑制されたと考えられる。また、PE 包装の時期と期間について調査した実験において、後期包装区では、無包装区よりも果実体積増減率が高く果実比重が低かった。後期包装区では前半の無包装時に果皮から水分が失われ、後半の PE 包装時に果肉から果皮へ水分移動が起ったと推察される。これにより、果皮が膨潤しやすい状態にあり、比重が低下したものと思われる。一方、前期包装区では貯蔵前半の包装によって果実の水分が保たれ、後半の無包装時に果皮の水分が損失して収縮し、その結果、果実比重が高く保たれると考えられた。

3. ‘はるみ’におけるす上がりの発生

松本（1973）によると、砂じょうが乾燥するす上がりには粒化症、い縮性ゼリー化症、砂じょう乾燥症、寒害によるす上がりの 4 種類が存在する。

粒化症は砂じょうが肥大、硬化し、白色あるいは無色となるのが特徴であり（松本，1973；Milind, 2008）、果実の成熟段階、樹齢、無機成分との関係が示唆されている（Goto and Araki, 1983；Milind, 2008）。一方、久松ら（2005）は、L サイズ以上の‘はるみ’果実において 1 月中旬に粒化症が発生することを報告している。著者らも収穫直後に 3L と 4L サイズの果実の 6 割以上において、粒化症と思われる果芯付近の砂じょうが大型化、粒状化、白色化する症状を観察している（未発表データ）。このように、‘はるみ’で観察される粒化症は生育期間中に徐々に発達したものと考えられた。

砂じょう乾燥症はポンカンその他晩生カンキツで発生し、その原因については不明な点が多い。しかしながら、今回‘はるみ’において観察されたす上がりは、果肉の色が黄色味を帯びることや砂じょうの水分が失われる点において症状が一致する。また、この症状は Milind

(2008) の分類で Chilling Injury に類似していると考えられる。一方で、本試験において、貯蔵後に 3L や 4L 階級の果実の果芯付近で、砂じょうが大型化、肥厚し、白色化する症状も観察された。これは粒化症とす上がりが同時発生したものと推察される。

果実比重に関しては、寒害によるす上がり発生果で果実比重が低下するとの報告がある(中島ら, 1974 ; 文室ら, 2014)。本研究において、貯蔵後に発生した果肉のす上がりと、果実比重との間に負の相関関係が認められた。これは、果肉のす上がりに伴う比重低下が、果実全体の比重低下につながったものと推察される。一方で、内田(1983)は寒害によるす上がり程度と減量歩合との相関は低いと報告している。本試験の PE 包装区においては、果実の重量や比重が維持され、す上がりが抑制されることが示唆された。また、す上がりの発生程度が減量歩合と正の相関を示しており、果実の水分損失がす上がり(砂じょう乾燥症)の原因であることが推察された。

4. 果肉崩壊

果肉障害において、す上がりのほかに、砂じょう構造が崩壊し、果肉が軟化するが変色を伴わない果肉崩壊が観察された(第 10 図 C)。この現象はこれまでに該当する報告が見当たらないため、‘はるみ’特有の現象であるか今後さらなる調査が求められる。一方で、果肉崩壊程度と減量歩合に正の相関が認められることから、水分損失に伴い砂じょうが収縮したために起こったものと推察される。

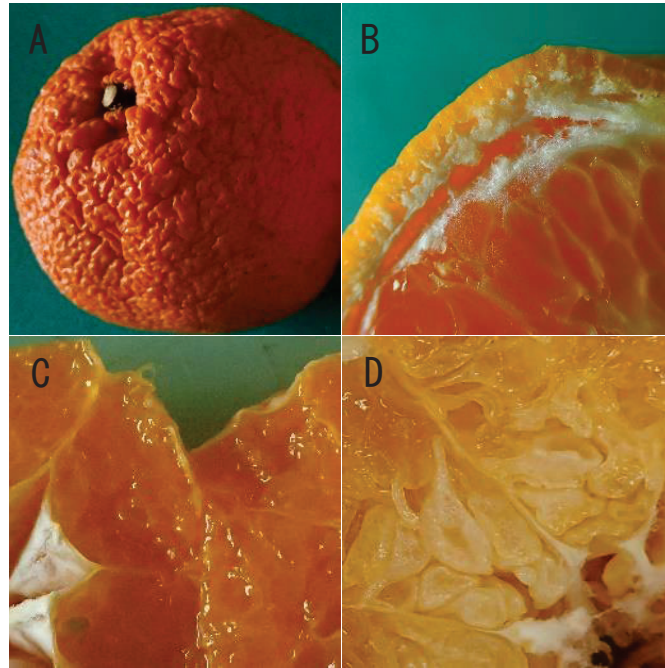
5. PE 包装による‘はるみ’の貯蔵管理

以上の結果から、‘はるみ’において PE 包装は果実の減量、果実の比重低下、果皮の萎凋、果肉のす上がりを抑制すること、浮皮および果肉崩壊を必ずしも助長しないことが明らかになった。このことは、貯蔵中の PE 包装が‘はるみ’の果実品質の保持に有効であることを示唆している。一方、無包装で 2 か月程度貯蔵した後に PE 包装して貯蔵を続けると、浮皮の発生が増加することから、予措後早い時期に PE 包装をする必要性が示唆された。また、浮皮の発生は小さい果実で少ないことから、L サイズ以下の果実を PE 包装することにより、障害果

の発生を防ぎながら長期間貯蔵することができるものと考えられる。

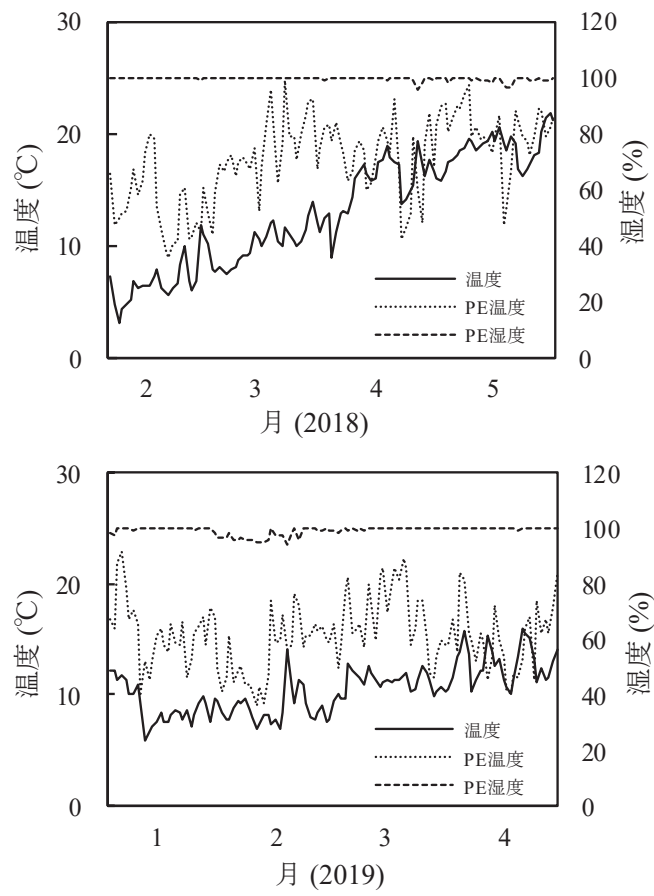
4-5 摘 要

カンキツ‘はるみ’において、PE包装と果実サイズが常温貯蔵中の果実品質と障害果発生に及ぼす影響を検討した。12月収穫、5月までの貯蔵において、無包装区ではM、Lの小さい果実で果皮の萎凋程度が大きかったが、PE包装により顕著に抑制された。2Lから4Lの大きな果実では、無包装区で果肉のす上がりが問題となった。しかしながら、PE包装は果実の比重低下、および、す上がり発生程度を顕著に抑制した。また、12月収穫、4月までの貯蔵において、PE包装期間と時期の影響を比較した。果実減量と果皮萎凋はPE包装期間と時期に関わらず顕著に抑制された。また、前期PE包装区、および、全期間PE包装区の浮皮発生程度は、無包装区と有意差が認められなかった。これらの結果から、カンキツ‘はるみ’において、PE包装により貯蔵期間が4月まで延長できる可能性が示された。



第10図 ‘はるみ’の貯蔵後に発生した果実障害

A:果皮萎凋, B: 浮皮, C:果肉崩壊, D:す上がり



第 1 1 図 貯蔵箱内および PE 袋内の温湿度の推移

第 8 表 カンキツ ‘はるみ’ の貯蔵後の果実品質に及ぼすPE包装と果実サイズの影響^z

処理区	果実 サイズ	調査数	貯蔵前 果実重 (g)	貯蔵後 果実重 (g)	減量 歩合 (%)	果実体積 増減率 (%)	貯蔵後 果実比重 (g・cm ⁻³)	果肉 歩合 (%)	Brix (%)	酸度 (%)
無包装	M	5	138 e ^x	103 e	25.0	-9.3	0.75 a	78 a	12.1	0.60 a
	L	5	176 d	131 d	25.2	-17.7	0.77 a	77 a	13.6	0.55 ab
	2L	4	217 c	172 c	20.8	-7.5	0.71 ab	73 ab	11.5	0.43 b
	3L	5	271 b	206 b	24.2	-8.2	0.65 b	69 b	12.0	0.51 ab
	4L	3	316 a	251 a	20.8	-5.7	0.66 ab	68 b	11.4	0.50 ab
PE包装	M	2	138 e	134 e	2.9	13.9	0.80 ab	80 ab	11.6 a	0.52
	L	4	180 d	175 d	2.5	2.5	0.82 a	80 a	11.1 a	0.55
	2L	5	219 c	213 c	2.7	4.7	0.77 ab	75 ab	10.0 b	0.55
	3L	3	277 b	271 b	2.5	6.5	0.71 b	71 b	11.1 a	0.60
	4L	3	319 a	312 a	2.1	7.6	0.71 b	71 b	10.0 b	0.54
分散 分析 ^y	PE		NS	**	**	**	**	*	**	NS
	サイズ		**	**	NS	NS	**	**	NS	NS
	交互作用		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

^z2017年12月18日収穫，翌年1月23日にPE包装を開始し常温で貯蔵，調査日は5月17~21日

^y**，*は1%，5%水準で有意性があり，NSは有意性がないことを示す

^x同一処理区内，同一列内の異なる文字はTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第 9 表 カンキツ ‘はるみ’ における貯蔵中のPE包装と果実サイズが
障害果の発生程度に及ぼす影響^z

処理区	果実 サイズ	果皮萎凋 (0-5)	浮皮 (0-5)	果肉崩壊 (0-3)	す上がり (0-5)
無包装	M	1.2	0.5 b ^x	0.5	0.7
	L	1.9	0.8 b	0.1	0.6
	2L	0.3	1.4 ab	0.6	2.3
	3L	0.8	2.2 a	0.1	2.2
	4L	0.3	2.7 a	0.0	2.0
PE包装	M	0.0	1.5	0.0	0.3
	L	0.2	0.6	0.1	0.0
	2L	0.0	1.8	0.0	0.0
	3L	0.0	2.3	0.0	0.0
	4L	0.0	1.3	0.0	0.0
分散分析 ^y	PE包装	**	NS	NS	**
	サイズ	*	**	NS	NS
	交互作用	NS	NS	NS	NS

^z 2017年12月18日収穫，翌年1月23日にPE包装を開始し，常温で貯蔵
2018年5月18~21日に障害果の発生程度を調査

^y **, *は1%，5%水準で有意性があり，NSは有意性がないことを示す

^x 同一処理区内，同一列内の異なる文字はTukeyの多重検定により5%水準で
有意差があることを示す

第 10 表 カンキツ ‘はるみ’ における貯蔵中のPE包装時期および期間が果実品質に及ぼす影響^z

包装時期 および期間 ^y	調査数	貯蔵前 果実重 (g)	貯蔵後 果実重 (g)	減量 歩合 (%)	果実体積 増減率 (%)	貯蔵後 果実比重 (g・cm ⁻³)	果肉 歩合 (%)	Brix (%)	酸度 (%)
無包装	12	234	163 c ^x	30.8 a	-25.3 d	0.83 a	80 ab	15.6 a	0.71
前期	12	228	181 b	21.3 b	-16.3 c	0.84 a	82 a	13.7 b	0.69
後期	10	237	193 b	18.8 b	-7.7 b	0.78 b	77 b	14.7 ab	0.70
全期間	12	230	221 a	3.7 c	6.0 a	0.81 ab	77 b	12.7 c	0.67

^z 2018年12月11日に収穫，12月18日に果実重と比重を測定後，前期および全期間処理区でPE包装を開始し，いずれの処理区も常温で貯蔵

2019年4月15，16日に果実重，比重，果肉歩合，果実品質を調査

^y 2月19日に後期処理区でPE包装を開始し，前期処理区で袋からとり出した

^x 同一列内の異なる文字はTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第 11 表 カンキツ ‘はるみ’ における貯蔵中のPE包装時期および期間が
障害果の発生程度に及ぼす影響^z

包装時期 および期間 ^y	果皮萎凋 (0-5)	浮皮 (0-5)	果肉崩壊 (0-3)	す上がり (0-5)
無包装	2.0 a ^x	0.3 b	0.3	0.2
前期	1.3 b	0.7 ab	0.2	0.2
後期	0.4 c	1.0 a	0.3	0.2
全期間	0.0 c	0.8 ab	0.1	0.1

^z 2018年12月11日に収穫，12月18日に前期および全期間処理区でPE包装を開始し，
いずれの処理区も常温で貯蔵

2019年4月16日に障害果の発生程度を調査

^y 2月19日に後期処理区でPE包装を開始し，前期処理区で袋からとり出した

^x 同一列内の異なる文字はTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す

第 12 表 果実の減量歩合，体積増減率あるいは果実比重と
障害果の発生程度との相関係数（2018，2019年）^z

相関係数	果皮萎凋	浮皮	果肉崩壊	す上がり
減量歩合	0.78** ^y	-0.24*	0.34**	0.22*
体積増減率	-0.87**	0.47**	-0.12	0.11
果実比重	0.34**	-0.77**	-0.13	-0.65**

^z 調査数はいずれも 85

^y **, *はそれぞれ1%，5%水準でF検定により有意性があることを示す

第5章 総合考察

本研究は、カンキツ‘はるみ’の安定生産、安定供給のための基礎的知見を得るために行った。‘はるみ’の果実品質は優良で、糖度と酸度が程よく調和し多汁で食味が良く、剥皮性や無核性があるため食べ易く、さらにはじょうのう膜が薄いため食べた後も爽快感が残る。一方で、栽培上では果実の大きさが揃わない、隔年結果性が強いなどの問題点がある。果実の大きさは生産性や商品性を決定する重要な要因であるため、摘果作業により着果数管理を行うが、摘果作業の基準となる数値をばらばらに設定する労力がかかる。また、果皮が剥きやすい寛皮性カンキツであるため、栄養条件や貯蔵条件によって浮皮などの生理障害を発生することが報告されている。しかしながら、貯蔵中に発生する浮皮など生理障害の症状や原因については知られていないことが多い。こうしたことから本研究では第2章において、カンキツの摘果法と生理障害に関する文献検索を行った。次に、圃場条件下において、これまでとは異なる方法で摘果基準を策定し、果実サイズや収量、品質、翌年の着花に及ぼす影響を第3章において研究を行った。次に得られた果実を用いて、これまで広く用いられているポリエチレン包装と果実サイズが貯蔵中の果実品質や障害果の発生に及ぼす影響について第4章で研究した。

カンキツの摘果は葉果比や樹冠容積当たり果実数を基準として行われ、果実サイズの適正化、品質向上、隔年結果防止などに多くの面に対して効果的である。一方、実際に摘果作業を行う際にはこれらの摘果基準が円滑に適用される必要があるが、これまでの摘果基準は必ずしも簡易に適用できるものではなかった。今回、本研究で得られた枝径を用いた摘果基準は、補助具を用いることにより摘果作業中でも簡易に残す果実数を把握することが可能である。これにより、摘果作業中の葉数や着果数を把握する作業が軽減されるものと考えられる。また、この基準は樹相が異なる樹の枝径と葉重の関係に基づいて策定しており、葉の大きさなど樹の状態を反映している。この結果、商品価値が高いとされる果実重180~250gの割合が50%以上確保されるなど、安定生産に寄与できるものと考えられる。一方、カンキツ樹には異なる太さの枝が混在しており、短時間で一定の太さの枝を探し出すためには摘果

補助具の使用法に慣れる必要がある。本研究では摘果時の着果数に基づき樹相判定を行ったが、同じ樹相でも施肥量や剪定方法により果実や葉のサイズが異なる可能性もあり、今後、樹の状態を正確に把握する手法の開発が求められる。また、裏年樹相においては果実の着果部位が樹冠一部に偏るケースが見られるため、太い枝に対応する着果数の算定が作業性向上のためにも必要と考えられる。

‘はるみ’は寛皮性カンキツで剥皮性があり、これは食べる際に有益な特性であるが、果実の浮皮が発生し易いデメリット面もある。貯蔵中においても高湿度条件で浮皮が発生するため、ポリエチレン（PE）包装の際は注意が必要で、無包装では短期の貯蔵が求められる。しかしながら、PE包装は果実の減量を防ぎ、果皮の萎凋を防止する効果があり有効な手段である。一方、‘はるみ’は果実サイズのばらつきが大きいことが報告されているが、貯蔵中の生理障害の発生や対処方法について詳細は明らかではなかった。本研究において、‘はるみ’のM、Lの小さい果実は無包装で果実減量と果皮の萎縮が問題であるが、PE包装により顕著に抑制されることが明らかとなった。これとは対照的に、2L以上の大きな果実では果皮の萎凋が顕著ではなく、5月までの無包装貯蔵で果肉にす上がりが発生した。この症状は砂じょう乾燥症に類似したが、その原因は明らかではなかった。本研究において、PE包装は果肉のす上がり防止に効果的であることが明らかとなった。また、PE包装条件下で高湿度となり、浮皮発生が助長されるため短期の貯蔵には不利とされていたが、長期貯蔵試験における統計解析の結果、浮皮の発生程度は果実サイズの影響を強く受けること、PE包装の影響は限定的である結果が得られた。これは、長期貯蔵の無包装区において果皮だけでなく果肉の水分が失われたため、果肉が収縮し浮皮発生を助長したこと、PE包装により果皮と果肉の水分損失が抑制され、必ずしも浮皮を助長するものではないことが示唆された。また、PE包装時期についても検討したが、前期包装区において後期包装区よりも果皮の萎凋程度は大きいものの、果実比重が高く保たれ果実品質が良好であることが明らかとなった。

したがって、果実の予措期間と PE 包装期間に注意を払うことで、これまで以上に貯蔵期間を延長し、高品質の果実を提供できる可能性が示された。

‘はるみ’は栽培方法や貯蔵方法の難しさなどから生産量は頭打ちとなっており、また、温暖化の進行により、これまで以上に栽培環境が厳しさを増すことも考えられる。しかしながら、‘はるみ’は食味が濃厚・多汁で果肉が柔らかく、じょうのうがほとんど残らず、果実品質はカンキツの中で特段優れており、多くの消費者に受け入れられる可能性がある。栽培方法については、適正に摘果作業、剪定作業、施肥管理などを行うことにより、商品価値が高いサイズの果実を安定して生産することが可能である。また、収穫期が多少ずれても、貯蔵条件を改良することにより、長期にわたり高品質の果実を供給することが可能と考えられる。本研究の成果が活用され、少しでも産地が活性されれば幸いである。

総合摘要

カンキツ‘はるみ’は現農研機構果樹茶業研究部門が開発し 1999 年に種苗登録された品種で、2017 年の国内栽培面積および生産量はそれぞれ 471ha と 5,626t となっている。‘はるみ’果実は剥皮性があり品質も良好であるが、隔年結果性が強い、あるいは出荷時期が短い等の問題がある。本研究では、‘はるみ’の摘果法を改善して商品性の高いサイズの果実を生産すること、貯蔵法を改善して安定的に果実を供給することを目的として試験を行った。

1. カンキツ ‘はるみ’ の摘果と生理障害に関する文献調査

(Fruit thinning and physiological disorders in citrus variety ‘Harumi’)

‘はるみ’やウンシュウミカンで主として使われている摘果基準は葉果比、あるいは樹冠容積当たり着果数であることが文献検索により明らかとなった。葉果比は葉と果実のバランスを示す指標であるが、その定義は果実 1 個当たり葉数、葉面積当たり果実数など様々であることや、実際の適用時に多くの時間と労力を要するなど問題がある。樹冠容積当たり着果数については、樹齢や樹冠容積が増大すると葉の密度が低下するため一定の値をとらないことが報告されている。また、樹全体の着果数を把握するのに困難を伴う。これらのことから、葉量に基づき簡易に適用できる新しい摘果基準の策定が必要であることが示された。一方、‘はるみ’は寛皮性カンキツに分類され剥皮が容易であるが、一定の条件下で浮皮が発生することが知られている。また、‘はるみ’の果実サイズは S から 4L まで変動幅が大きく、果実品質や貯蔵中に発生する生理障害もサイズにより異なることが報告されている。ポリエチレン (PE) 包装による貯蔵は果実減量やヤケ症に対して抑制効果が認められ、中晩性カンキツにおいて広く用いられているが、‘はるみ’においては浮皮発生が問題となり無包装での貯蔵が求められている。しかし、無包装での貯蔵は果実減量が大きく果皮萎凋が発生しやすいため、貯蔵期間は長くて 2 か月とされている。今後 ‘はるみ’の貯蔵期間を延ばすためには、貯蔵中の生理障害発生に及ぼす果実サイズの影響と、これに応じた貯蔵管理法を明らかにする必

要性が示された。

2. カンキツ ‘はるみ’ の枝径を用いた摘果基準の策定と評価

カンキツ ‘はるみ’ において枝径と葉重の関係に基づき摘果基準（枝径）を策定し、生産性と果実特性に及ぼす影響を評価した。枝径 X と葉重 Y の関係は $Y=AX^B$ の数式で示された。この式の係数に基づき標準樹相の葉数 100 に相当する枝径を計算し、葉果比 100 に対応する摘果基準として樹相ごとに設定した（例；0.80 cm の枝に果実 1 個着果）。これら摘果基準を各樹相に適用した結果、摘果率は着果量に応じて 91.4%から 57.2%に分散し、樹冠容積当たり収穫数は樹相間で有意差がなかった。商品価値が高いとされる 180 g~250 g の果実割合は標準樹相で 50%以上を維持し、裏年樹相で摘果基準の改良に伴い改善された。翌年の着花は継続的な生産を行うのに支障のない値を示した。以上のことから、樹相に応じた摘果基準として枝径を適用することにより、‘はるみ’の適正な着果数管理が行われ、商品価値の高いサイズの果実を生産することが可能であることが示された。

3. カンキツ ‘はるみ’ における貯蔵中の生理障害発生に及ぼすポリエチレン包装と果実サイズの影響

カンキツ ‘はるみ’ において、PE 包装と果実サイズが常温貯蔵中の果実品質と障害果発生に及ぼす影響を検討した。12 月収穫、5 月までの貯蔵において、無包装区では M, L の小さい果実で果皮の萎凋程度が大きかったが、PE 包装により顕著に抑制された。2L から 4L の大きな果実では、無包装区で果肉のす上がりが問題となった。しかしながら、PE 包装は果実の比重低下、および、す上がり発生程度を顕著に抑制した。また、12 月収穫、4 月までの貯蔵において、PE 包装期間と時期の影響を比較した。果実減量と果皮萎凋は PE 包装期間と時期に関わらず顕著に抑制された。また、前期 PE 包装区、および、全期間 PE 包装区の浮皮発生程度は、無包装区と有意差が認められなかった。これらの結果から、カンキツ ‘はるみ’ において、PE 包装により貯蔵期間が 4 月まで延長できる可能性が示された。

謝辞

本研究の実施ならびに本論文を草するにあたり、終始懇篤なご指導、ご助言、励ましの言葉を賜りました静岡大学農学部教授 加藤雅也博士、岐阜大学農学部教授 前澤重禮博士、静岡大学大学院農学領域准教授 八幡昌紀博士には、衷心より感謝の意を表します。本論文をとりまとめるにあたり、適切にご指導、ご助言を賜りました農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域カンキツ栽培生理ユニット 西川芙美恵 博士、ならびに同カンキツ流通利用・機能性ユニット 松本 光 博士に対して感謝の意を表します。

また、本研究を遂行するに際し、絶えず暖かいご激励とご助言を頂いた 深町 浩 カンキツ栽培生理ユニット長、元農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域長 森口卓哉 博士、現同領域長 塩谷 浩 博士に深く感謝致します。

さらに、カンキツ研究領域職員および常緑果樹コース研修生各位に対して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 相川博志・北園邦弥・藤田賢輔・榎 英雄. 2013. カンキツ‘不知火’果実のMA包装資材活用による長期貯蔵技術 第1報 ‘不知火’果実の長期貯蔵に適する温度. 熊本農業研究センター研究報告. 20: 34-37.
- 坂野 満・鈴木寛之・杉原巧祐・大橋幸雄・池野 護. 2004. カンキツ‘はるみ’の隔年交互結実栽培におけるシイクワシャー台の利用. 愛知農総試研報. 36 : 41-45.
- 藤原文孝・井上久雄. 2008. ‘はるみ’の結実管理法の違いが隔年結果性, 炭水化物, 品質に及ぼす影響. 愛媛果樹試研報. 22: 9-16.
- 文室政彦・堀川勇次・櫻井直樹. 2014. ブラッドオレンジとハッサクのす上がり果判別における音響振動法の適用. 園学研 13(4):365-370.
- Goto A and Araki C (1983) Chemical composition and internal anatomy of the gelled and granulated juice sacs of Sanbokan (*Citrus sulcata* hort. ex Takahashi) fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 52(3): 316-324.
- 濱田美智雄・白石美樹夫. 2020. 魚眼レンズを装着したデジタルカメラと画像処理ソフト「Fiji-ImageJ」を用いた生食用ブドウ品種の葉面積指数の推定. 園学研. 19(1): 83-88.
- 長谷川美典・伊庭慶昭. 1984. カンキツ類の貯蔵に及ぼす温度の影響II貯蔵予措の温度について. 果樹試報 B11: 53-61.
- 林田誠剛. 2011. 中晩生カンキツの果面障害発生実態と‘せとか’における発生軽減技術. 長崎農林技セ研報 2: 129-142.
- 平野 暁・森岡節夫. 1975. カンキツの着果程度と樹の生長および収量との関係 (第 1 報) 宮川早生幼木における果実収量と葉の物質生産力. 園学雑 44(2): 99-106.
- 平野 暁・森岡節夫・中井滋郎・岩田正久. 1969. カンキツの葉面積の測定法 (第 1 報) 1 枚の葉の葉面積の推定. 千葉暖地園試研報. 1: 11-15.

- 久松 奨・小川原斉・稲葉元良. 2005. ‘はるみ’の着花特性および果実階級と果実品質との関係. 静岡柑試研報. 34: 1-6.
- 伊庭慶昭. 1978. 中晩柑類果実の鮮度保持技術. 農業及び園芸. 53: 1337-1343.
- 池田裕朗. 2010. ‘はるみ’. 中晩柑をつくりこなす. p 22-43. 農文協編. 農文協. 東京.
- 池田裕朗. 1985. ‘不知火’. 農業技術体系. 果樹全書 1 カンキツ. p352-13-3. 農文協. 東京.
- 稲葉一男. 1969. カンキツの貯蔵に関する研究 (3) 川野ナツダイダイのポリエチレン貯蔵について. 園学講要S44(秋): 312-313.
- 岩崎藤助. 1961. カンキツの隔年結果防止に関する研究 (第 4 報) 摘果が隔年結果の防止に及ぼす影響. 園学雑. 30: 103-110.
- 岩崎藤助. 1966. カンキツ栽培法. P345-349. 朝倉書店. 東京.
- 河瀬憲次. 1984. ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究. (第 2 報) 果実周辺の湿度条件と浮皮発現. 果樹試報D6 : 41-56.
- 河瀬憲次. 1985. 浮皮. 果樹全書 (カンキツ). p513-516. 農文協. 東京.
- 河瀬憲次. 1999. デコポンをつくりこなす. p56-76. 農文協. 東京.
- 河瀬憲次・平井康市・禿 泰雄・間苧谷徹. 1985. ウンシュウミカンに対するエチクロゼートの浮皮軽減効果について. 園学雑 54: 171-177.
- 河瀬憲次・高原利雄・廣瀬和榮・小野祐幸・吉永勝一. 1984. ウンシュウミカン果実における浮皮発現の要因と防止法に関する研究. (第1報) 九州・東海両地域における浮皮発現と気象要因. 果樹試報D6 : 27-40.
- 岸野 功. 1985. 適正着果・摘果. 果樹全書 (カンキツ). p169-179. 農文協. 東京.
- Lee J-Y, Lee S-M, Lee M-J, Han H-W, Jung H-W and Lee Y-H (2015) Crop load adjustment based on branch vigor for producing uniform fruit in young apple trees. Hort. J., 84: 202-213.
- 農林水産省. 1987. 果実の全国標準規格. p2-5.

松本 光. 2014. マンダリン類果実の品質保持における収穫後温度の重要性. 植調48(4) : 19-24.

Matsumoto H, Adachi Y, Ikoma Y and Kato M (2019) Effect of maturation stage and storage temperature and duration on β -cryptoxanthin content in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. Hort. J., 88(2): 214-221.

松本和夫. 1973. 柑橘園芸新書. 養賢堂. 東京. P 291-299.

松本亮司. 晩生カンキツ‘不知火’. 2001. 果樹試報. 35: 115-120.

Milind S. Ladaniya. 2008. Physiological disorders and their management in: Citrus fruit. Academic Press. pp451-464. U.K.

森岡節夫・八幡茂木. 1989. ウンシュウミカンの摘果直前の着果程度が果実の大きさ, 収量及び翌年の着花などに及ぼす影響. 園学雑 58: 97-103.

武藤浩志・末松信彦・荒木勇二・馬場富二夫・石井ちか子・石井香奈子・稲葉善太郎・杉山和美. 2010. ‘はるみ’の着果, 果実の大きさ, 糖度および葉と根のデンプン含量が次年度の着花に及ぼす影響. 植物環境工学. 22: 181-186.

中嶋輝子. 2014. 中晩柑の貯蔵について. 柑橘66(2) : 8-11.

中島芳和・宮本富博・安藤良紀・新開邦男. 1974. 日向夏ミカンの凍結す上がりに関する研究. 1.凍結す上がり果の圃場における発生状態. 高知大研報 (農). 23 : 147-153.

西田和男. 1978. 温州ミカンの果実肥大・収量および品質に及ぼすチッ素施用量と葉果比の影響. 広島果試研報. 4: 1-12.

Nishikawa F, Iwasaki M, Fukamachi H, Nonaka K, Imai A, Takishita F, Yano T and Endo T (2012) Fruit bearing suppresses citrus FLOWERING LOCUS T expression in vegetative shoots of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 81: 48-83.

野方俊秀. 1985. ‘清見’. 農業技術体系. 果樹1カンキツ. p336-8. 農文協. 東京.

農林水産消費安全技術センター (FAMIC). 2021. <https://www.acis.famic.go.jp/index.htm>

農林水産省果樹試験場興津支場. 1987. カンキツの調査方法. p.1-12. 黒船印刷. 静岡.

農林水産省生産局園芸作物課. 2017. 特産果樹生産動態等調査.

https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu

Ogata R, Goto K, Kunisawa T and Harada R (1986) Productivity and fruit quality of four apple cultivars on three different rootstocks and at different planting densities. *Acta. Hortic.*, 160: 97-104.

Pearce S C (1952) Studies in the measurement of apple trees 1. The use of trunk girth to estimate tree size. *Ann. Rpt. East Malling Res. Sta.*, 1951: 101-104.

榑 英雄・北園邦弥・藤田賢輔. 2013. カンキツ‘不知火’果実のMA包装資材活用による長期貯蔵技術 第1報 貯蔵中の果実の糖度およびクエン酸濃度の推移. 熊本農業研究センター研究報告. 20:26-33.

佐藤景子・生駒吉識・松本 光・中嶋直子. 2015. ウンシュウミカン果実の浮き皮と着色に及ぼすジベレリンとプロヒドロジャスモンの散布濃度・時期の影響. *園学研*. 14: 419-426.

清水達夫・鳥潟博高・鳥居鎮男. 1975. 温州ミカンの着果負担に関する研究(第3報) 葉果比が収穫期の樹体内炭水化物含量ならびに翌春の着花数・新葉数に及ぼす影響. *園学雑*. 43: 423-429.

杉山泰之・江本勇治・濱崎 櫻・鈴木晴夫・大城 晃. 2008. 窒素施肥量の違いがカンキツ‘不知火’幼木の樹体生育・果実品質および葉中無機成分含有率に及ぼす影響. *園学研*. 7(2): 203-208.

杉山泰之・江本勇治・濱崎 櫻・鈴木晴夫・大城 晃. 2011. 窒素施肥量の違いがカンキツ‘はるみ’幼木の樹体生育・果実品質及び葉中無機成分含有率に及ぼす影響. *静岡農技研報*. 4: 51-59.

橘 温・八幡茂木. 2004. ワセウンシュウの隔年結果の防止に有効な最適葉果比. *園学雑*. 73: 150-156.

- 瀧下文孝. 2020. 摘果補助具. 実用新案登録第 3225797 号.
- 瀧下文孝. 2020. これからの気象災害と柑橘栽培. 72(6) : p. 6-8.
- 瀧下文孝・馬場明子・星 典弘・根角博久・國賀 武・島崎昌彦. 2010. カンキツ ‘はるみ’の枝径による葉面積推定. 園学研. 9 (別 1) :263.
- 瀧下文孝・福田博之・千葉和彦・工藤和典. 1995. コンピューター・グラフィックスを利用したリンゴの樹形・光透過・果実品質の解析. 果樹試験場報告. 27 : 43-64.
- Takishita F, Hiraoka K, Muramatsu N and Uchida M (2006) Characterization of fruit sugar accumulation and maturity in ‘Harumi’ mandarin. *Acta Hort.*, 773: 95-101.
- Takishita F, Matsumoto H and Kato M (2019) Effect of fruit size and polyethylene wrapping on the storage ability of citrus ‘Harumi’. *Acta Hort.*, 1230: 83-87.
- Takishita F, Nonaka K, Imai A and Hamada H (2014) Three types of rind coloring in response to fruit bagging in new citrus cultivars. *Acta Hort.*, 1135: 131-137.
- 富永茂人・大東 宏. 1982. 中晩生カンキツの貯蔵温度とポリエチレンフィルム包装が果実の品質に及ぼす影響. 四国農試報. 40: 92-127.
- 内田 誠. 1983. 福原オレンジの凍結によるす上がりに関する研究. I 果実の凍結程度とす上がりとの関係. 果樹試報. D5:59-66.
- 内田 誠. 1984. 福原オレンジの凍結によるす上がりに関する研究. IV 貯蔵による凍結果実のす上がり防止. 果樹試報. D6:77-84.
- 内田 誠・吉永勝一・河瀬憲次. 1984. カンキツ果実における凍結状況とす上がり発生の品種間差異. 果樹試報. D6:85-98.
- Westwood M N and Roberts A N (1970) The relationship between trunk cross-sectional area and weight of apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 95: 28-30.
- 薬師寺清司. 1970. 温州ミカンの栽植密度に関する研究-計画密植の基礎理論. 愛媛果試研報. 6: 1-86.

安竹英晴. 今月の作業 (中晩柑類). 2015. 柑橘 67(12): 38-39.

横尾宗敬・奥代直巳・小園照雄・岩佐俊吉・大崎守. 1963. 温州ミカンの浮皮に関する研究
(第1報). 園試報. D1: 29-44.

吉田俊雄・山田彬雄・根角博久・上野 勇・伊藤祐司・吉岡照高・日高哲志・家城洋之・七
條寅之助・木原武士・富永茂人. 2000. カンキツ新品種 ‘はるみ’. 果樹試報. 34:
43-52.

Summary

Fruit quality of citrus 'Harumi' is very excellent but has some problem in producing equalized and moderate size fruit every year. The wide range of fruit size causes unstable fruit quality and the occurrence of different type of physiological disorders during storage. Thus, controlling fruit size and improving storing condition is very important. This study is aimed at improving fruit thinning method in citrus variety 'Harumi'. To accomplish this purpose, a new fruit thinning criterion was developed based on the relationship between branch diameter and leaf weight. The adoption of this new criterion enabled us to conduct fruit thinning very easily and resulted in high rate of moderate fruit size, adequate yield, and good flower formation in the following season. Another purpose of this study is to clarify conditions which induce physiological disorders during storage. The effects of polyethylene wrap and fruit size were analyzed in five, or four-month storage. The type of physiological disorder was clarified in accordance with fruit size and the availability of polyethylene wrapping was demonstrated.

1 .Fruit thinning and physiological disorders in citrus variety 'Harumi'

Citrus variety 'Harumi' shows a wide range of fruit size, which affects fruit quality such as sugar and acid contents. In citrus, fruit size also affects the degree of physiological disorder which become a big problem during storage. Thus, making fruit with equal and appropriate size is very important. Fruit thinning is one of the most important techniques to adjust fruit size by controlling the fruit number. Basically, fruit thinning has been conducted using a criterion based on leaf and fruit ratio (L/F) or fruit number per canopy volume. In this review, several thinning criteria for 'Harumi' and other citrus varieties are compared, and the pros and cons are discussed. In some citrus varieties, storage is necessary to adjust shipping time. During the storage, some physiological disorders occurred in peel, flesh and whole fruit. The occurrence of physiological disorders was influenced by citrus variety, fruit size, the portion of fruits and environmental conditions during storage. In 'Harumi' which is classified to easy-

peeling variety, small fruit showed serious weight loss and peel wrinkle, while rind puffing and dehydration of flesh were big problems in large fruit during storage. Polyethylene (PE) bag wrapping has been used to decrease the fruit weight loss and to prevent the occurrence of some physiological disorders in tight-skin citrus varieties. However, the influences of PE wrapping on easy-peeling citrus is unclear. In this study, the researchers on storage conditions, feature and cause of physiological disorders during storage are also reviewed, and the effects of PE wrapping are discussed to improve storage condition in 'Harumi'.

2. Evaluation of fruit thinning criteria with branch diameter in citrus cultivar 'Harumi'

Based on the relationship between branch diameter and leaf weight, authors set fruit thinning criterion with branch diameter and evaluated the effects on productivity and fruit characteristics in citrus cultivar 'Harumi'. The relationship between branch diameter(X) and leaf weight(Y) were shown as $Y=AX^B$ for on-year, standard and off-year phases, respectively. We calculated branch diameter corresponding to 100 leaves and set as fruit thinning criterion in each tree phase (one fruit set per branch of 0.8 cm diameter, e.g.). Adopting these criteria to three phases resulted in fruit thinning rates ranging from 91.4% to 57.2% in accordance with fruit load. There was no difference in harvested fruit number per canopy volume among phases. The percentage of valuable fruit size between 180 g and 250 g was kept more than 50% in standard phase, and its value in off-year phase was improved as fruit thinning criterion was modified. Flower number per node in the following season showed successive fruit production. Thus, applying fruit thinning criteria with branch diameter corresponding to tree phases enabled us to control fruit number moderately, and consequently to produce high rate of valuable 'Harumi' citrus fruits.

3. Effects of polyethylene wrapping and fruit size on the occurrence of physiological disorders during storage in citrus variety 'Harumi'.

In this study, the effects of polyethylene (PE) wrapping and fruit size on the fruit qualities and occurrence of fruit disorders during storage at ambient temperature were investigated in citrus variety 'Harumi'. In the test of five months of storage, the occurrence of peel wrinkles was serious in the small classes (M, L) without PE wrapping. However, it was prevented by PE wrapping remarkably. In the large classes (2L-4L), the occurrence of dehydration of flesh was observed in the fruit without PE wrapping. On the contrary, the decrease of specific gravity and occurrence of dehydration of flesh were prevented drastically by the PE wrapping. In addition, the occurrence of rind puffing was influenced by fruit size but not PE wrapping. In the test of four months storage, the effects of length and timing of PE wrapping were compared. The results showed that weight loss and the occurrence of peel wrinkles were prevented by PE wrapping regardless of the length and timing. The occurrence of rind puffing in the fruit wrapped with PE in the first half and throughout storing period was not higher than that without wrapping. These results indicate that storage period can be elongated until April by storing fruit with PE wrapping in citrus variety 'Harumi'.

本研究の基礎となる論文目録

- 1) Fumitaka Takishita, Fumie Nishikawa, Hikaru Matsumoto and Masaya Kato. 2021. Fruit thinning and physiological disorders in citrus variety 'Harumi'. *Reviews in Agricultural Science*.
印刷中
第 2 章を構成
- 2) 瀧下文孝・西川芙美恵・深町 浩・加藤雅也. 2021. カンキツ 'はるみ' の枝径を用いた摘果基準の策定と評価. *園芸学研究*. 印刷中
第 3 章を構成
- 3) 瀧下文孝・松本 光・西川芙美恵・加藤雅也. カンキツ 'はるみ' における貯蔵中の障害果発生に及ぼすポリエチレン包装と果実サイズの影響. *園芸学研究*. 投稿中
第 4 章を構成