

氏名	ちょう さい き 張 才 喜
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	甲第383号
学位授与年月日	平成17年 9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Evaluation of the roles of carbon partitioning, cell division, cell expansion, and gibberellins involved in fruit size of Japanese pear ( <i>Pyrus pyrifolia</i> Nakai) (ニホンナシの果実肥大における同化産物の分配、細胞分裂、細胞肥大およびジベレリンの役割)
学位論文審査委員	(主査) 田邊賢二 (副査) 田村文男 太田勝巳 執行正義 板井章浩

### 学位論文の内容の要旨

In fruit crops, fruit size at harvest is an important aspect of quality. To uncover the mechanism of fruit development and establish suitable cultural practices to improve fruit quality, the roles of carbon partitioning, spur characteristics, gibberellins, cell division and cell expansion in regulating fruit development in Japanese pear were evaluated.

#### 1. Partitioning of $^{13}\text{C}$ -photosynthate from spur leaves during fruit growth of three Japanese pear cultivars differing in maturation date

To assess the interaction of assimilate supply and early/late maturity of cultivars and its effect on final fruit size, the pattern of carbon assimilate partitioning from spur leaves to fruit and other organs during fruit growth was investigated using three cultivars differing in maturation date. Compared with the earlier-maturing cultivars 'Shinsui' and 'Kousui', the larger-fruited, late-maturing cultivar 'Shinsetsu' had a greater total leaf area per spur, greater source strength, with more  $^{13}\text{C}$  assimilated per spur and allocated to fruit, smaller loss of  $^{13}\text{C}$  in respiration and export over the season, and longer duration of cell division and enlargement. Assimilate availability during the period of cell division was crucial for early fruit growth and closely correlated with final fruit size. Early fruit growth of the earlier-maturing cultivars, but not the later-maturing ones, was severely restrained by assimilate supply rather than by sink limitation.

## **2. Evaluation of cell division and cell expansion in relation to final fruit size in *Pyrus pyrifolia***

To evaluate cell division and cell enlargement involved in determining of final fruit size in *Pyrus pyrifolia* Nakai, 46 cultivated Japanese pear cultivars and three wild pears were selected to study the relationship between cell number pre- and post-anthesis, cell size at harvest and final fruit size. The results showed that not cell number of pericarp at pollination but cell number of the mesocarp at the cessation of the period of cell division after pollination is crucial for determining of final fruit size in *P. pyrifolia*. Final fruit size is the function of cell number after pollination and the duration of cell division rather than cell size at harvest. A longer period of cell division and greater cell number in later-maturing cultivars are the main factors for the fact that later-maturing cultivars usually have larger fruit than earlier-maturing cultivars in Japanese pear.

## **3. Spur characteristics, fruit growth and carbon partitioning in two late-maturing Japanese pear cultivars with contrasting fruit size**

The aim of this study was to investigate the roles of spur characteristics and carbon partitioning in regulating cultivar differences in fruit size of two late-maturing Japanese pears 'Atago' and 'Shinkou'. The results showed that they displayed different patterns in leaf development, flower characteristics, fruit growth, and shoot type. On a spur basis, there were no significant differences in the amount of  $^{13}\text{C}$  assimilate produced by spur leaves on each labeling date except at 190 DAA, however, there were highly significant differences in the amount of  $^{13}\text{C}$  allocated to fruit between cultivars. Moreover, a higher amount of  $^{13}\text{C}$  was allocated to 'Atago' fruit than that in 'Shinkou'. Analysis of relative sink strength (RSS) showed that 'Atago' exhibited a greater RSS of fruit and lower losses of  $^{13}\text{C}$  for respiration and export than 'Shinkou'. These results suggest that the movement of photosynthates into the fruit was determined by sink strength of the fruit rather than the source strength in the two cultivars.

## **4. What is the fate of $^{13}\text{C}$ -photosynthate from different current shoot types in late-maturing Japanese pear during the period of rapid fruit growth?**

To elucidate the fate of photosynthates from different current shoots and their influence on fruit growth in neighboring spur complex during the period of rapid fruit growth, two late-maturing Japanese cultivars: 'Atago' and 'Shinkou', were selected for experiment. The results showed that all of current shoots investigated could export photosynthates to the neighboring fruit and buds. The cultivar difference in amount of  $^{13}\text{C}$  is resulted from the difference of RSS of fruit between cultivars.

**5.  $^{13}\text{C}$ -photosynthate accumulation in Japanese pear fruit during the period of rapid fruit growth is limited by sink strength of fruit rather than by transport capacity of the pedicel**

In Japanese pear, GA<sub>4+7</sub> applications at 40 DAA resulted in marked increase in pedicel diameter and bigger fruit at harvest. To elucidate the relationship between pedicel capacity and fruit growth and determine what the main factor responsible for larger fruit size at harvest is, fruit growth and pedicel vascularization and carbohydrate fluxes were examined. The results showed that larger fruit size resulted from GAs application during this period ascribed increase in cell size of the mesocarp, carbon partitioning to fruit and relative sink strength of fruit. Although GAs is closely related with pedicel vascularization, it seems that photosynthate accumulation in fruit is limited by sink strength of fruit rather than by transport capacity of the pedicel.

**6. Roles of gibberellins in carbon translocation and partitioning in Japanese pear fruit during the period of rapid fruit growth**

We postulate that GAs promote fruit enlargement may be caused by the enhancement of sucrose- and sorbitol-metabolizing enzymes' activities stimulated by GAs in fruit. To test this hypothesis, the relationship between GAs and the activities of enzymes involved in sucrose and sorbitol metabolisms was examined to explore the key enzymes in carbon partitioning and to obtain information on GAs signal functions in carbon partitioning. The result showed that GAs promote fruit enlargement and carbon accumulation via activation of Inv-CW in the core, Inv-N and NAD-SDH in the flesh during the period of rapid fruit growth in Japanese pear. Inv-CW, Inv-N and NAD-SDH up-regulated by GAs are vital for sugar hydrolysis and determination of sink activity in Japanese pear fruit.

## 論文審査の結果の要旨

ニホンナシの果実肥大は品種によって著しく異なる。この差異が果実肥大に関わる4つの要素、即ち、果実の細胞数、果肉細胞の肥大量、光合成生産物の果実への分配の多少、および果実のシンク力のうちいずれの要素が強く関係しているかを生理学のおよび生化学的に究明した。

**1. 成熟時期が異なるニホンナシにおける同化産物分配の品種間差異**

成熟時期が異なる3品種、'新水' (早生種)、'幸水' (中生種)、および'新雪' (晩生種)を供試し、光合成産物の果実への分配、果実肥大との関係を調査した。早生品種においては光合成産物のソース側(短果枝葉)の能力が果実生長に強くかわり、果実肥大の著しい晩生品種では

ソース側から長期にわたり光合成産物を果実に転流し、細胞分裂期間を長くしていた。

## 2. ニホンナシ果実の大きさの品種間差異と細胞分裂および細胞肥大との関係

ニホンナシ 46 品種および 3 種の野生ナシ(ニホンヤマナシ、豊富梨、マンシュウマメナシ)の果実について、受粉前後の細胞数、収穫時の果実径、細胞径および細胞数を調査し、ニホンナシの果実の大きさと細胞分裂、および細胞肥大との関係について考察した。

収穫期の果実の大きさは、収穫時の細胞径ではなく、受粉後の細胞数および細胞分裂期間の長短と相関関係が認められた。このことから、ニホンナシの収穫時の果実の大きさは受粉時の細胞数よりも細胞分裂終了後の細胞数により決定される事が明らかとなった。早生品種に比べて晩生品種の果実が大型になる主たる理由は晩生品種の細胞分裂期間が長く、細胞数が多いことに基づくとみなされた。

## 3. 晩生種ニホンナシにおける短果枝特性、果実生長および同化産物分配の品種間差異

晩生種で収穫期が近くまた短果枝着生や樹勢がよく似ている品種‘愛宕’(1500g)と‘新興’(400~500g)を用いて短果枝および光合成産物の分配が果実生長に及ぼす影響を調べた。果実が着生している短果枝果叢葉に  $^{13}\text{CO}_2$  を取り込ませ果実への転流の様相を比較したところ、大玉果実に肥大する‘愛宕’では‘新興’に比べて果実に分配される同化産物量、割合ともに多かった。さらに両品種のシンク力の差異を調べたところ‘愛宕’果実は強力なシンク力を持ち、呼吸や果実から他器官への再転流による損失が少ないことが認められた。これらのことから光合成産物の果実への分配はソース能力ではなくシンク能力の差異によって決定され、これが‘愛宕’果実を大果に肥大させる大きな要因と考えられた。

## 4. ニホンナシ晩生品種の果実肥大期における隣接する新梢の役割

果実生長期の新梢からの光合成産物の分配が果実生長と隣接する短果枝の花芽分化に及ぼす影響を調査するため、晩生品種の‘愛宕’と‘新興’を供試した。徒長枝、発育枝、花流れ枝、側枝先端部の新梢のいずれも、伸長停止後に隣接する短果枝の果実へ光合成産物を転流させており、果実発育のための重要なソース源として機能していた。また‘愛宕’果実の方がより強いシンク能力によって多くの光合成産物を蓄積することが明らかになった。

## 5. 果実肥大期の $^{13}\text{C}$ 光合成産物の果実への蓄積量は果梗の転流能力よりは果実のシンク力によって決まる

果実生長期における果梗へのジベレリン( $\text{GA}_{4+7}$ )処理は、果梗の直径および収穫果の果実径を著しく増大させる。組織学的に調査すると GA 処理は中果皮の細胞径を増大させるものの、その細胞数および果芯径の増大には影響を与えないことが認められた。一方光合成産物の分配を調査した結果、GA 処理によって果実のシンク力が増大し、これが果実重の増大に影響しているとみなされた。また GA 処理による果梗の横断面積(CSA)の増大は主として師部、木部の CSA の増大によるものであることから、果実生長期の GA 処理が果実径を増大させる要因は、GA 処理により中果皮の細胞径の増大と果実シンク力の増大によって光合成産物の果実への蓄積量が増加するためであることが明らかとなった。

## 6. ジベレリン(GA)が果実肥大期の光合成産物の転流および分配に果たす役割

果実生長初期の GA 処理は果実のシンク能を増大させることによって果実の肥大生長を促進し、収穫果の果実径と果実重を増大させることが明らかとなった。これについてさらに生化学的な面から追求するため、光合成産物分配のキー酵素(鍵酵素)やソルビトール代謝に関わる酵素の活性と GA との関係を調べた。GA 処理は果実肥大中の果芯の細胞壁結合インベルターゼ(Inv-CW)、果肉中の中性インベルターゼ(Inv-N)および NAD 依存ソルビトール脱水素酵素(NAD-SDH)活性を増大させた。したがって GA はニホンナシの果実生長期の果芯の Inv-CW、果肉の Inv-N および NAD-SDH 活性を増大させることで果実肥大および光合成産物の蓄積を促進していると考えられた。GA による Inv-CW、Inv-N および NAD-SDH の活性化はニホンナシの果実における糖蓄積とシンク活性の決定にきわめて重要な役割を果たしている事が明らかとなった。

以上のようにニホンナシの品種によって果実肥大量が異なる原因は、果実の細胞分裂期間の長短による細胞数の多少、光合成産物を果実を集積する力であるシンク能力の強弱の 2 つの要因が関わっていることを明らかにした。さらにジベレリン(GA)が光合成産物の果実への転流と糖代謝・蓄積に関与することによって果実のシンク力の強弱に関わっていることを示し、これまで説明不十分であったニホンナシ果実肥大の品種間差について生理・生化学的に解明した成果はきわめて大きく、博士論文として十分な価値を有するものと認めた。