土壌乾燥期間がネイハキンカンの着花および果実収量に及ぼす影響

岩 崎 直 人¹・山 口 徹

宮崎大学農学部

¹ 現在：明治大学農学部

Flowering and Yield of 'Meiwa' Kumquat Trees Are Affected by Duration of Water Stress

Naoto IWASAKI¹ and Tooru YAMAGUCHI

Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki 889-2192, Japan

¹ Present address : School of Agriculture, Meiji University, Kawasaki 214-8571, Japan

(Received January 8, 2004)

'Meiwa' kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) trees were subjected to water stress in order to increase first-flush flowers by withholding water until the soil water content reached about 35% and maintained 2 weeks, 3 weeks and 4 weeks. In all treatment subjected to water stress increased first-flush flowers as compared with non-treated control trees. The number of first-flush flower increased with the prolonged duration of water stress. Early fruit development in water stressed trees were promoted and fruit diameter at harvest increased significantly. In rind color of the fruit at harvest, *a* value of the rind increased significantly suggested promotion of fruit maturation in water stressed trees. Total soluble solids of the fruit in water stressed trees were not different from the control trees, while yield per tree in water stressed trees were significantly increased as compared with the control trees. These results indicate that the number of first-flush flowers increases under water stress after termination of new shoot growth and yield increases significantly without degrading fruit quality.

Keywords : duration of water stress, first-flush flower, kumquat, yield

2004年1月8日受付

緒 言

キンカン (*Fortunella crassifolia* Swingle) の果実生産には、6月下旬から7月にかけて3~4回に分かれて開花する夏花が、一般には利用されている。しかしながら、最も早く開花する1番花数は概して少なく、年による変動も大きいことから、安定した収量を確保することが困難である。

著者らは、新梢伸長終了後に土壌乾燥処理することにより1番花数が増加し、さらに開花期間が短縮され

ることを報告した (Iwasaki et al., 2000)。特に、土壌水分含量が45%の処理区に比べて35%処理区でその効果が高いことを明らかにした。しかしながら、強度の乾燥処理では、期間が長くなると枝葉の枯死が多くなり、1樹当たりの着花数が減少する傾向にあった。安定した果実生産を行うためには着花数の確保は重要であるが、そのための適切な土壌乾燥処理の期間については明らかになっていない。

一般に、植物が利用できる有効水は土性によって異なり、土壌水分含量が同じであっても、土性の異なる土壌間では植物の受ける水ストレスも異なる。した

がって、乾燥処理を行う場合には、土壌水分含量を指標とするよりも、植物が受ける水ストレスの程度を指標とすることが望まれる。

そこで本研究は、土壌乾燥処理の期間が樹体に与える水ストレスの程度および果実収量に及ぼす影響について明らかにすることを目的として行った。

材料および方法

供試樹は直径 30 cm のビニールポットに植えられた 5 年生ネイハキンカンで、前年の収穫を終えた 1999 年 1 月 26 日に剪定を行った。その後 4 月 1 日に、無加温のビニールハウス内に置いて管理した。

処理区は、土壌水分含量を約 35~40%、土壌乾燥処理の期間を 2 週間とした 2 w 区、3 週間とした 3 w 区、4 週間とした 4 w 区、および未処理の対照区を設定した。各区 3 樹を供試した。

新梢が萌芽した後、各樹 5 本の新梢を無作為に選び、3 日おきにその伸長量を測定した。新梢伸長量の測定から、伸長停止日が近いと判断した 4 樹を各処理区に振り分けた。新梢伸長停止日から 10 日後に十分に灌水を行い、土壌乾燥処理 0 日とした。乾燥処理の開始が最も早かった樹は 5 月 14 日、最も遅かった樹は 5 月 21 日であった。その後、各処理区とも設定した期間、乾燥処理を行った。処理期間中は、比熱式土壌水分計 (YZ-132, 矢崎計器 (株)) を用いて、午前 10 時に 1 ポットにつき 3 カ所の土壌水分含量を測定した。必要に応じて少量の灌水を行って、各処理区の土壌水分含量を設定値に維持した。なお、本実験に用いた土壌 (宮崎焼土 1 号) の 24 時間後最大容水量は乾土重量比で 67.3% で、土壌乾燥区で設定した 35~40% の水分含量は水分張力で 700 cm・H₂O 以上に相当し、テンションメーターで測定可能な範囲外であった。

処理終了時に、3 本の新梢から中位に着生する葉を各々 1 枚 (3 枚/樹) 採取して含水率の測定を行った。採取した葉は生体重を測定した後、蒸留水を入れたシャーレに浮かべ 6 時間静置した。葉の表面について水滴をガーゼで拭き取り、直ちに飽水時生体重を測定した。その後、通風乾燥機を用いて 70°C で 72 時間乾燥させた後、乾物重を測定した。以上の測定値をもとに、含水率と相対含水率を次式により求めた。

$$\text{含水率 (\%)} = (\text{生体重} - \text{乾物重}) / \text{乾物重} \times 100$$

$$\text{相対含水率 (\%)} = (\text{生体重} - \text{乾物重}) / (\text{飽水時生体重} - \text{乾物重}) \times 100$$

(飽水時生体重 - 乾物重) は飽和含水量である。

各処理区において 1 樹当たり 10 本の新梢を選び、6 月 11 日から、1 日当たりの各枝ごとの開花数を調査し、1 番花数と 2 番花数を求めた。

土壌乾燥処理区では 1 番花に着果した果実、対照区では 2 番花に着果した果実について各樹 15 個を無作為に選び、開花終了後 2 週間おきにノギスを用いて果実の縦径と横径を測定した。土壌乾燥処理区では 1 番花に着果した果実を、対照区では 1 番花、2 番花に着果した果実を残し、それ以降に着生した果実は 8 月 10 日にすべて摘果した。果実は 12 月 20 日に収穫し、収量および個数を調査した後、縦径、横径、果実重、果皮色、総可溶性固形物含量を測定した。

結 果

各供試樹は 4 月上旬に萌芽を開始し、5 月上旬には新梢伸長が停止した。伸長停止時の新梢長は 6~12 cm、1 樹当たりの新梢数は 80~140 本で、各処理に供試した樹間に差はなかった (データなし)。

各処理区における土壌水分含量の推移を Fig. 1 に示した。対照区はほぼ 1 日おきに灌水を行ったため、土壌水分含量は約 80% で推移した。土壌乾燥処理区では、灌水を停止してから徐々に土壌水分含量が低下し、10 日後には 40% 前後に達した。その後は土壌水分含量の低下が緩やかになったが、各処理区ともに 40% 前後で推移した。しかしながら、4 w 区では、処理開始後 15 日頃から葉の萎凋が激しくなったために灌水を頻繁に行った結果、土壌水分含量は増加し、40~50% の間で推移した。

Fig. 1 Changes in soil water contents under different duration of water stress treatments.

各処理区における葉の含水率を Table 1 に示した。対照区における含水率は 219.1%であったのに対し、土壌乾燥処理区では 150%前後で、対照区に比べて有意に低下していた。また、相対含水率は対照区で 94.6%、土壌乾燥処理を行った 2 w および 3 w 区ではそれぞれ 61.6%、71.2%で、対照区に比べて有意に低い値であった。しかしながら、4 w 区では 75.3%で対照区と有意な差はなかった。

対照区では 1 番花および 2 番花の開花がみられ、1 番花の開花から 2 番花の開花が終了するまで 19 日を要したのに対し、土壌乾燥処理区では 1 番花のみの開花がみられ、開花期間は 6.3~8.0 日であった (Table 2)。新梢 10 本当たりの 1 番花数は対照区で 40.0 であったのに対し、土壌乾燥処理区で 88.3~124.3 で、対照区に比べて有意に増加した (Table 2)。

果実肥大は縦径において対照区で初期から劣り、ま

た有意差はないが、土壌乾燥処理期間が長くなるほど優れる傾向にあった (Fig. 2)。したがって、収穫時の果実重は対照区で最も小さい 9.5 g で、土壌乾燥区では 12 g 前後であった (Table 3)。また、土壌乾燥期間が長くなるほど、収穫時の果実重は大きくなる傾向にあった。果実の着色程度を示す a 値も、4 w 区で最も高い値を示し、成熟が早くなることが示唆された。しかしながら、果実の可溶性固形物含量は果実重と逆の傾向を示し、有意ではないが 4 w 区で最も低い値であった (Table 3)。

1 樹当たりの着果数も対照区でわずか 26.3 個であったのに対し、土壌乾燥処理区では 41.7~47.3 個で、対照区に比べると有意ではないが高い値であった。したがって、1 樹当たりの収量は対照区で 227.5 g であったが、土壌乾燥処理区ではいずれも 400 g 以上であった (Table 2)。

Table 1 Effects of water stress on leaf water content in 'Meiwa' kumquat.

	Leaf weight at sampling time (g)	Leaf weight at saturated water content (g)	Leaf dry weight (g)	Water content (%)	Relative water content (%)
Control	0.282a ^z	0.293a	0.089a	219.1a	94.6a
2 w	0.204a	0.284a	0.082a	148.7b	61.6b
3 w	0.216a	0.269a	0.084a	156.6b	71.2b
4 w	0.242a	0.291a	0.088a	170.5b	75.3a

^z Within columns, values with different letters are significantly different by Tukey's studentized range test at $p < 0.05$.

Table 2 The number of flowers, flowering period and fruit yield in 'Meiwa' kumquat as affected by the duration of water stress.

	Flowering period (days)	Number of flowers per 10 shoots			Yield (g/tree)	Fruit number per tree
		1st-flush	2nd-flush	Total		
Control	19.0b ^z	40.0a	12.7	52.7a	227.5a	26.3a
2 w	6.3a	88.3b	0.0	88.3a	425.8a	41.7a
3 w	5.7a	114.3bc	0.0	114.3ab	430.2a	47.3a
4 w	8.0a	124.3c	0.0	124.3b	447.5a	44.0a

^z Within columns, values with different letters are significantly different by Tukey's studentized range test at $p < 0.05$.

Table 3 Effects of the duration of water stress on fruit quality in 'Meiwa' kumquat.

	Fruit weight (g)	Fruit diameter (mm)		Rind color			Soluble solids content (%)
		Transverse	Longitudinal	L	a	b	
Control	9.5a ^z	25.1a	25.4a	68.7a	11.7a	65.3a	20.5a
2 w	11.9a	26.6a	29.0b	68.3a	19.0b	65.7a	20.1a
3 w	12.0a	26.3a	30.1b	68.3a	19.1b	65.7a	19.5a
4 w	12.8a	27.5a	29.4b	68.1a	19.8b	65.8a	18.2a

^z Within columns, values with different letters are significantly different by Tukey's studentized range test at $p < 0.05$.

Fig. 2 Changes in fruit diameter of 'Meiwa' kumquat treated with different duration of water stress.

考 察

キンカンは四季咲き性を有し、発達段階の異なる果実が混在するため、短期間にすべての果実を収穫することができず、収穫作業が繁雑になる。したがって、通常3~4回に分かれて開花する夏花の開花期を、一時期に集中させる技術の確立は重要であると考えられる。また、最も早く咲く1番花に着果した果実は早期に果実発育が開始されることから、樹体からの養分供給量が増加し、果実の肥大が優れ高品質となる。

著者らは前報 (Iwasaki et al., 2000) において、土壤水分含量を35%程度で3週間程度処理することにより1番花数を増加させ、さらに開花期間が短縮される可能性があることを報告した。しかしながら、適切な土壤乾燥処理の期間ならびに樹体の受ける水ストレスの程度、さらに土壤乾燥処理が果実収量に及ぼす影響については明らかではなかった。本研究では、土壤水分含量を35~40%前後で2週間から4週間処理したところ、すべての処理期間で1番花のみの開花がみられた。また、開花期間は3週間処理区が最も短い5.7日であった。さらに、処理期間が長くなるほど開花総数が増加する傾向にあったことから、1樹当たりの収量を確保するためには、長期間の土壤乾燥処理が有効であると考えられた。ウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc.) の花芽分化は、分化に不適な温度条件下であっても一定期間以上水ストレス下に置くことによって誘導され、その効果は-3.5 MPa 程度の水ストレスで40

日以上処理により顕著に現れることが報告されている (Yamada et al., 1990)。また、'タヒチ' ライム (*Citrus aurantifolia* Swingle) では、2週間程度の水ストレスで花芽分化促進効果がみられることが報告されている (Southwick and Davenport 1986)。'タヒチ' ライムはキンカンと同様に四季咲き性を有することから、四季咲き性を備えた種では、ウンシュウミカンに比べて短期間で水ストレスによる花芽分化促進効果が現れると考えられる。

ウンシュウミカンでは、果実の収穫が遅くなると秋季の内生ジベレリン含量が増加し、翌年の着花数が減少することが報告されている (Ogata et al., 1996)。さらに、ウンシュウミカンでは乾燥処理により内生ジベレリン活性が低下することが報告されている (Yamada et al., 1990) ことから、キンカンにおいても乾燥処理により内生ジベレリン活性が低下する可能性が考えられる。また、合成サイトカイニンであるBAの葉面散布により新梢萌芽数の増加と開花数が増加する (Xiang and Matsumoto, 1988) ことから、乾燥処理が内生ホルモンの生合成を通して花芽分化に関与しているものと考えられるが、今後さらに検討する必要がある。

本実験では、土壤水分含量が各区ともに乾燥処理開始後徐々に低下し、処理開始後10日頃には40%程度まで低下した。その後2wおよび3w区では、処理終了時まで40%前後で推移したが、4w区では処理開始後15日から24日にはわずかに増加して、45%前後から

50%程度で推移した。したがって、4w区においては、処理後半には強度の乾燥条件下にはなかった可能性が考えられた。2wおよび3w区における処理終了時の葉の含水率は150%前後、相対含水率は61.6%, 71.2%で、対照区に比べて有意に低下していた。しかしながら、処理期間が最も長い4w区で2w区に比べて高い値を示しており、処理期間が長くなるにつれて葉の相対含水率が低い値を示してはいなかった。本研究では、処理期間中の新梢の枯死を回避する目的で、葉が極端に萎れた場合には適時灌水を行った。したがって、処理開始後10日から終了までの土壌水分含量は設定値を上回り、2w区および3w区で40%程度であったのに対し、4w区では44%程度であったことから、葉の含水率が高くなったものと思われる。また、葉の乾物重は処理期間が長くなるほど高くなったことから、処理期間中の葉において浸透圧調節機能により炭水化物の蓄積が促進された可能性も考えられる (Meyer and Boyer, 1981)。

1樹当たりの収量は、1果実重と果実数によって決定される。本研究では、1樹当たり果実数は対照区で26個であったが、土壌乾燥区では41~47個であり、有意ではないが増加した。また、1樹当たりの収量も土壌乾燥区で対照区の2倍程度に増加していた。本研究では着果率は調査していないが、新梢10本当たりの開花総数は土壌乾燥区で対照区の2倍程度に増加していたことから、着果率に処理間で大差はないものと考えられる。したがって、土壌乾燥処理により開花数が増加し、結果として1樹当たりの収量増加が期待できるものと考えられた。

また、1果重は対照区で9.5gであったのに対し、土壌乾燥区では各区ともに対照区に比べて有意な差はなかったが11~12g前後と増加していた。本実験では、対照区における1番花の着果率が低く十分な数の果実が得られなかった。したがって、対照区の果実肥大は2番花に着果した果実で行ったことから、果実肥大が劣った可能性も考えられる。データは示していないが、対照区では着果数が少なく葉果比が約30であったのに対し、土壌乾燥処理区では約10であったことから、対照区で果実肥大が劣った理由として樹体の物質生産のみで説明することはできない。したがって、1番花に着果した果実の特性で果実肥大が優れるものと考えられた。土壌乾燥区では、初期の果実肥大が対照区に比

べて優れており、結果として収穫時の果実重が優れたものと思われる。土壌乾燥区における可溶性固形物含量は、有意差はないものの低下する傾向にあった。これは、対照区における葉果比が、土壌乾燥区に比べて約3倍近い値であったことも関与していると考えられる。したがって、着果数の調節により、果実品質の向上を図ることは可能であると考えられる。果実の着色程度を示す果皮の a 値は、対照区に比べて土壌乾燥区で優れていた。Watanabe et al. (1984) は、早生ウンシュウの生理落果前の果実の大きさが採取時における果皮色の a 値に大きく影響するとしていることから、キンカンにおいても初期の果実肥大促進により、果実の成熟が促進されると思われた。

以上の結果から、土壌乾燥処理はキンカンの1番花を利用した果実生産にとって有効な方法であり、さらに収穫時の煩雑さを軽減する有効な方法であると考えられた。また、葉の相対含水量が70%前後にまで低下する樹体の水ストレスで、3週間程度処理することが適当であると考えられた。

文 献

- Iwasaki, N., Hayasaki, K., Tanaka, S. 2000. Effect of water stress on flowering of 'Meiwa' kumquat trees. (Japanese text with English summary) *Environ. Control in Biol.* **38**: 105-109.
- Meyer, R. F., Boyer, J. S. 1981. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. *Planta* **151**: 482-489.
- Ogata, T., Hasukawa, H., Shiozaki, S., Horiuchi, S., Kawase, K., Iwakaki, K. 1996. Seasonal changes in endogenous gibberellin contents in satsuma mandarin during flower differentiation and the influence of paclobutrazol on gibberellin synthesis. (Japanese text with English summary) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **65**: 245-253.
- Southwick, S. M., Davenport, T. L. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiol.* **81**: 26-29.
- Watanabe, J., Akiyoshi, H., Amano, S., Inoue, S., Murakami, K. 1984. Studies on the coloring of citrus fruit I. Coloring at maturation of wase satsuma fruit as affected by fruit loading and NAA spray. (Japanese text with English summary) *Mem. Coll. Agric., Ehime Univ.* **29**: 215-225.
- Xiang, R. Z., Matsumoto, K. 1988. Promotion of inflorescence development by 6-Benzylamino purine in large round kumquat (*Fortunella crassifolia* Swing.) trees. *Mem. Coll. Agric., Ehime Univ.* **33**: 109-116.
- Yamada, H., Tanaka, K., Sugiura, A., Tomana, T. 1990. Effect of severity and duration of water stress on flower induction in satsuma mandarin trees. (Japanese text with English summary) *Bull. Fac. Agric. Niigata Univ.* **42**: 1-6.