

관수 개시점에 따른 복숭아 ‘천중도백도’의 과실 품질 및 생산성 변화 분석

이슬기^{1*} · 조정건¹ · 정재훈¹ · 이동용¹ · 한점화² · 장시형³ · 류수현⁴ · 김희태⁵ · 강상현⁶

¹국립원예특작과학원 과수와 농업연구사, ²국립원예특작과학원 과수와 농업연구관, ³국립원예특작과학원 과수와 전문연구원,
⁴농촌진흥청 디지털농업추진단 농업연구사, ⁵국립농업과학원 안전재해예방공학과 농업연구사,
⁶국립농업과학원 안전재해예방공학과 전문연구원

Analysis of Fruit Quality and Productivity of ‘Kawanakajima Hakuto’ Peach according to the Different Irrigation Starting Point

Seul Ki Lee^{1*}, Jung Gun Cho¹, Jae Hoon Jeong¹, Dongyong Lee¹, Jeom Hwa Han², Si Hyeong Jang³,
Suhyun Ryu⁴, Heetae Kim⁵, and Sang-Hyeon Kang⁶

¹Agricultural Researcher, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

³Research Associate, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

⁴Agricultural Researcher, Department of Digital Agriculture, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

⁵Agricultural Researcher, Safety Disaster Prevention Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea

⁶Research Associate, Safety Disaster Prevention Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea

Abstract. This study was conducted to determine the optimal irrigation starting point by analyzing tree growth, physiological responses, fruit quality, and productivity in peach orchards. Seven-year-old ‘Kawanakajima Hakuto’ peach trees were used in an experimental field (35°49′30.4″N, 127°01′33.2″E) located within the National Institute of Horticultural and Herbal Science located in Wanju-gun, Jeollabuk-do. The irrigation starting point was set with four levels of -20, -40, -60, and -80 kPa from June to September 2022. While there were no significant differences in increase of trunk cross-section area and leaf area among treatments, shoot length and diameter decreased in the -80 kPa and -20 kPa treatments. The photosynthetic rate measured in August was highest for -60 kPa (17.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), followed by -40 kPa (15.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), -20 kPa (14.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and -80 kPa (14.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). SPAD value measured in May and August was lower in the -80 kPa and -20 kPa treatments than in the -60 kPa and -40 kPa treatments. The harvest date reached three days earlier in the -20 kPa treatment compared to other treatments. The fruit weight was highest in the -60 kPa (379.1 g), followed by -40 kPa (344.0 g), -80 kPa (321.0 g) and -20 kPa (274.9 g). Firmness was the lowest in the -20 kPa treatment. The soluble solid content was highest in the -60 kPa treatment (13.3°Bx). The ratio of marketable fruits was highest in the -60 kPa treatment (50.7%) and lowest in the -80 kPa treatment (23.4%). In conclusion, we suggest that setting the irrigation starting point at -60 kPa could improve the fruit quality and yield in peach orchards.

Additional key words: soil water potential, tree growth, photosynthesis, fruit weight, soluble solid

서 론

기후변화에 의한 기온 상승에 따라 증발산량이 높아지고, 강수량의 변동 폭 증가로 가뭄과 홍수 발생이 증가할 것으로 예상된다(Moon, 2018). 또한 최신 기후변화 시나리오인

Shared Socioeconomic Pathways(SSP)에 따르면 21세기 후반기의 우리나라 평균 강수량은 현재 대비 3-18% 증가하며, 강수 일수는 5.6-6일 감소할 것으로 전망하고 있다(KMA, 2021). 이러한 기후변화 조건에서 농업 용수 공급, 작물 재배, 식량 생산 등에 문제가 발생할 수 있다(Watanabe 등, 2018). 특히 노지 과수원의 경우 토양 환경을 인위적으로 제어하기 어렵기 때문에, 지속적인 모니터링 및 연구를 통하여 기후변화에 대한 선제적 대응이 필요한 상황이다.

*Corresponding author: lsk0729@korea.kr

Received September 5, 2023; Revised October 27, 2023;

Accepted October 30, 2023

토양 수분 부족으로 인한 식물체의 건조 스트레스로는 기공 폐쇄에 의한 광합성 기구의 기능 저하, 엽육세포의 탈수 및 팽압 저하(Lee, 2018b), 양이온 및 질소원 등의 양분 수송 감소(Lee, 2018a), 수체 생육 저하(Chung, 2000) 등 세포에서부터 식물 성장까지 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 수분 부족 뿐만 아니라 침수에 의한 부정적 영향도 매우 크며, 특히 복숭아는 침수에 저항성이 약한 작물로 보고되었다(Thoma와 Kullaj, 2014). 침수 상태에서는 토양의 산소 부족으로 호기성 호흡이 억제되고, 에탄올과 젖산과 같은 독성 물질이 뿌리에 축적된다(Xiao 등, 2000). 또한 침수 스트레스는 식물 성장을 억제하고, 뿌리에서 생성된 ABA는 잎의 노화를 유도하여 생산성을 저하시킨다(Iacona 등, 2013; Taiz와 Zeiger, 2002).

국외에서는 복숭아를 대상으로 토양 수분 환경에 따른 염수분 포텐셜, 기공 반응, 광합성, 과실 품질 변화 등과 같은 수분 생리 연구가 오랜 기간 수행되었다(Berman과 Dejong, 1996; Girona 등, 1993; Mahhou 등, 2006). 그러나 국내에서는 사과, 포도 작목에서 한정적으로 수분 생리 연구가 보고되었으며(Yoon, 2001; Kwon 등, 2016), 복숭아를 대상으로 온실이나 포트 실험 연구가 일부 수행되었다(Yun 등, 2017). 따라서 본 연구는 노지 복숭아 과원에서 관수 개시점에 따른 복숭아 ‘천중도백도’의 수체 생육, 생리 반응 및 과실 품질과 생산성 변화를 분석하여 적정 관수 개시점을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험 재료 및 처리

시험 재료는 전라북도 완주군에 위치한 국립원예특작과학원 내의 노지 복숭아 시험포(35°49'30.4"N, 127°01'33.2"E)에 6 × 6m로 재식된 7년생 ‘천중도백도’ [*Prunus persica* (L.) ‘Kawanakajima Hakuto’]를 처리당 4주씩 사용하였다. 시험

처리는 2022년 전엽기 이후인 6월부터 수확 이후인 9월까지 관수 개시점을 -20kPa, -40kPa, -60kPa, -80kPa로 설정하여 관수하였으며, 수체 생육이 정지된 10월부터는 자연 강우로만 관수를 진행하였다. 시험 처리를 위한 자동관수시스템은 국립농업과학원에서 개발한 자동관수 프로그램을 사용하였다(Fig. 1A). 토양 수분 환경을 정밀하게 제어하기 위하여 처리구별 0.8m 깊이로 방수판을 설치하여 외부 유입수를 차단하였으며, -20kPa을 제외한 처리구의 수관 하부에 비가림 시설을 설치하여 강우 시 자동으로 닫히도록 설정하였다(Fig. 1B). 토양 수분 장력 센서(Teros21, Meter Group, Pullman, WA, USA)는 처리구별 1개씩 복숭아 뿌리 분포가 많은 0.2m 깊이로 설치하여 1분 간격으로 데이터를 수집하였다. 매일 10시 토양 수분 장력 값이 처리구별 설정한 관수 개시점보다 5 이상 낮아졌을 때를 관수 시점으로 설정하였다. 관수량을 산정하기 위하여 시험포에 설치한 간이기상대에서 수집한 온도, 습도, 풍속 등의 일별 기상 데이터를 Penman-Monteith 공식(Allen 등, 1998)에 적용하여 일별 기준 증발산량을 계산하였다. 마지막 관수 일부터 관수 시점까지의 누적된 일별 기준 증발산량에 시험구 면적과 시기별 복숭아 작물계수(NAS, 2018)를 곱하여 산정된 최종 관수량만큼 관개하였다.

2. 토성 물리성 분석

2020년 6월 복숭아 시험포의 토성을 분석하기 위하여 대표 지점 3곳을 선정하여 0.2 - 0.8m 깊이의 토양을 0.2m 간격으로 채취하여 샘플로 사용하였다. 토양은 7일간 풍건하여 2mm 체를 통과시킨 것을 사용하였으며, 토양 및 식물체 분석법(NAS, 2000)에 준하여 분석하였다.

3. 수체 생육 및 생리 반응 조사

주간부 단면적 증가량은 기부에서 0.2m 위의 직경을 관개 시작 전 6월과 처리가 끝난 시점인 10월에 측정하여 차이를

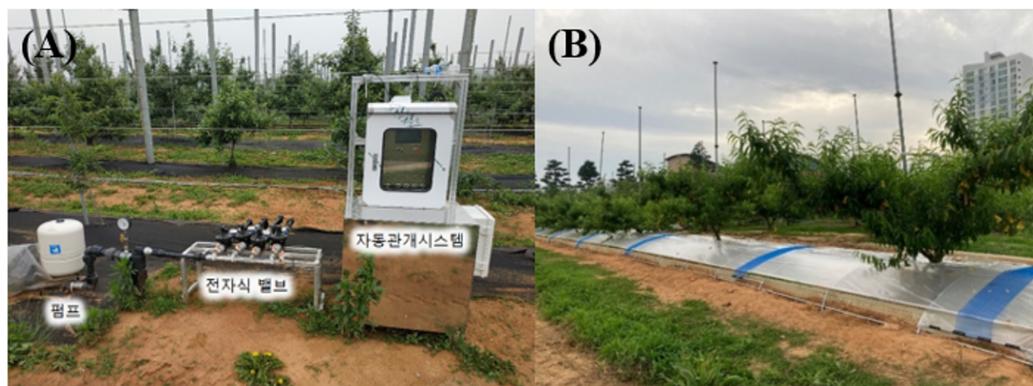


Fig. 1. (A) Automatic irrigation system and (B) rain shelter to control different soil water conditions in peach orchards.

계산하였다. 엽면적과 신초 길이, 두께는 과실 수확 이후인 9월 20일에 조사하였다. 엽면적은 처리당 4개의 나무에서 신초의 중간에 위치한 평균적인 크기의 잎 20개를 채취하여 엽면적 측정기(Li-3000C, Li-COR, Lincoln, NE, USA)를 사용하여 측정 후 잎 1개의 평균값을 계산하였다. 신초 길이는 처리당 3개의 나무에서 평균적인 길이의 신초 20개를 선정하여 측정하였으며, 두께는 같은 신초를 대상으로 중간 부위의 두께를 측정하였다. 엽록소 지수인 SPAD 값은 처리당 3개의 나무에서 1.5m 높이의 신초 중간 부위에 위치한 양엽을 나무당 5개씩 선정하여 한 달 간격으로 같은 잎을 SPAD meter (SPAD-502plus, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

광합성률, 기공전도도 및 증산율은 처리당 4개의 나무에서 1.5m 높이의 신초 중간 부위에 위치한 양엽을 나무당 1개씩 선정하여, 같은 잎을 한 달 간격으로 광합성 측정기(Li-6400, Li-COR, Lincoln, NE, USA)와 20×30mm LED 광원 챔버(Li-6400-02B, Li-COR, Lincoln, NE, USA)를 사용하여 오전 중에 측정하였다. 측정 조건은 노지 복숭아의 광포화점에 근접한 광도 $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 챔버 온도 25°C, CO₂ 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 상대 습도 60–70%, 공기 유속 $500\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하였다.

4. 과실 품질 및 수확량 조사

과실은 2022년 8월 3일, 5일, 8일 3회 분산 수확하였으며, 50% 이상의 과실을 수확한 날짜를 수확일로 정하였다. 처리당 3개의 나무에서 수확한 과실의 개수와 무게를 전수 조사하였으며, 과중 분포는 100g 단위로 과실 개수를 분류하고 전체 과실 수로 나누어 비율을 계산하였다. 과실 품질 조사는 처리당 30개의 과실을 선발하여 과중 및 과실의 중 횡경을 측정하였으며, 색도는 색차계(CR-300, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 봉합선을 기준으로 수직 방향의 중앙부 2곳을 측정하였다. 경도는 색도를 측정된 부위의 과피를 지름 10mm 크기의 원형으로 벗긴 후 8mm probe를 장착한 물성측정기(TAPlus, Lloyd Instrument, Bognor Regis, UK)를 이용하여 측정하였다. 가용성 고형물 함량은 경도를 측정된 과육 부분을 잘라 착즙한 과즙을 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)에 약 5mL를 떨어뜨려 측정하였다. 산 함량은 산도계(TitroLine® 5000, SI analytics, Mainz, Germany)를 이용하여 과즙 5mL에 증류수 20mL를 첨가한 용액을 0.1N NaOH로 적정하면서 pH 8.2가 될 때까지 소요된 NaOH량을 malic acid량으로 환산하였다.

5. 수분 이용 효율

수분 이용 효율(water use efficiency, WUE)은 수확량을 자연 강우량과 관수량을 포함한 전체 물 소모량으로 나누어 계산하였다. 관수 이용 효율(irrigation water use efficiency, iWUE)은 수확량을 자연 강우량을 제외한 순수 관수량으로 나누어 계산하였다(Kim 등, 2022).

6. 통계 분석

통계 분석은 R version 4.0을 이용하여 분산 분석(ANOVA)을 실시하였으며, 평균간의 비교는 Duncan 검정을 이용하여 5% 유의 수준에서 각 처리간 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 기상 및 토양 환경

시험포에 설치한 기상대에서 관측된 기온과 강우량은 Fig. 2와 같다. 2022년 6월 10일부터 8월 31일까지 평균 기온은 26.2°C, 평균 최고 기온은 30.6°C, 평균 최저 기온은 22.7°C였다. 총 강우량은 309.22mm였으며, 10mm 이상의 강우가 발생한 날은 8일이었다.

토성은 토양의 깊이가 깊어질수록 모래의 비율은 감소하고, 점토 비율은 증가하였다(Fig. 3). 0.2m 깊이의 토성은 사질식양토, 0.4m 이상의 깊이에서는 모두 식양토로 분석되어 복숭아의 뿌리 분포가 많은 0.2m 깊이까지 배수가 좋을 것으로 판단된다. 시험 기간 동안의 총 관수량은 관수 개시점이 낮을수록 감소하는 경향을 보였으며, -20kPa 처리구 대비 -40kPa, -60kPa 처리구는 68%, -80kPa 처리구는 58% 수준이었다.

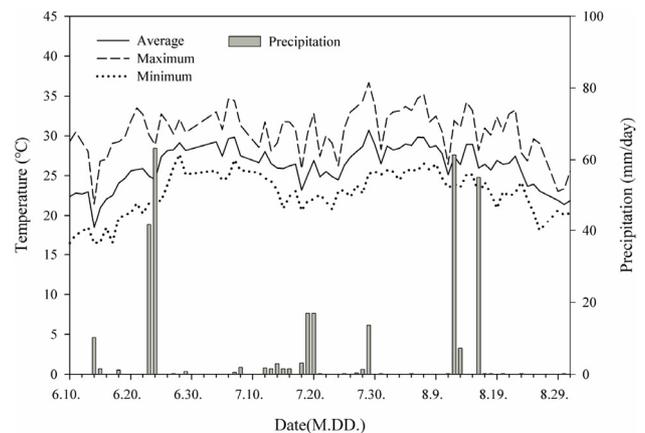


Fig. 2. Changes in daily average, maximum and minimum air temperature and precipitation at National Institute of Horticultural and Herbal Science (35°49'30.4"N, 127°01'33.2"E) during the experimental period in 2022.

또한 -20kPa 처리구는 자연 강수량 30,922L를 포함하여 투입된 물량이 44,855L로 다른 처리구 대비 매우 많았다. 관수 횟수는 관수 개시점에 따라 증가하거나 감소하는 경향을 나타내지 않았다(Table 1). 시험 처리 기간 동안의 각 처리별 토

양 수분 장력 범위는 -20kPa 처리구에서는 -8 ~ -59kPa, -40kPa은 -8 ~ -78kPa, -60kPa은 -8 ~ -96kPa, -80kPa은 -22 ~ -126kPa이었으며, 관수 개시점이 낮을수록 변화 폭이 큰 것을 확인하였다(Fig. 4).

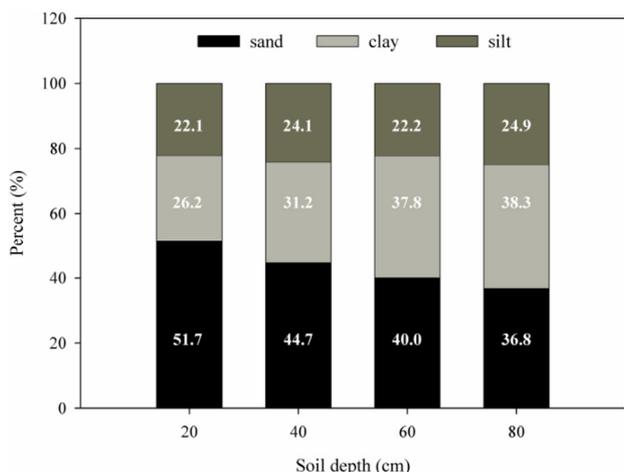


Fig. 3. Comparison of sand, clay, and silt ratio according to soil depth in peach orchards.

Table 1. Comparison of amount and frequency of irrigation under different irrigation starting point during the experimental period in 2022.

Treatment (kPa)	Amount of irrigation (L) ^z	Irrigation frequency (times)
-20	13,933 (100) ^y	14
-40	9,489 (68)	21
-60	9,480 (68)	11
-80	8,089 (58)	13

^zMean the sum (L) of irrigation amount of each treatment from June 10 to August 31.

^yMean the ratio (%) of irrigation amount of each treatment compared to the control.

2. 수체 생육

주간부 단면적 증가량과 엽면적은 처리 간에 통계적 유의차는 없었다(Table 2). 신초 길이는 -60kPa과 -40kPa 처리구 모두 1.03m로 유의하게 길었으며, -20kPa 처리구는 0.82m, -80kPa 처리구는 0.76m로 가장 짧았다. 신초 두께는 -60kPa (8.0mm), -40kPa(7.1mm), -20kPa(5.8mm), -80kPa(4.9mm) 순으로 두꺼웠다(Table 2). 이러한 결과는 복숭아를 대상으로 단기간의 침수, 무관수 처리를 했을 때, 신초 생장이 억제된 결과와 일치하였다(Kwon 등, 2016). 또한 복숭아는 신초 길이가 길수록 큰 과실을 생산할 수 있으며(Farina 등, 2005), 신초 길이와 두께 등 나무 세력에 따라 착과량이 조절된다(RDA, 2013). 따라서 -80kPa, -20kPa 처리구의 신초 길이와 두께

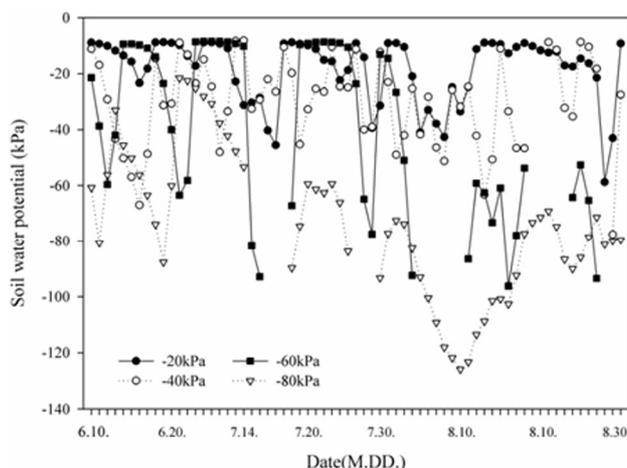


Fig. 4. Changes in daily soil water potential under different irrigation starting point during the experimental period in 2022.

Table 2. Characteristics of the tree growth under different irrigation starting point in peach 'Kawanakajima Hakuto'.

Treatment (kPa)	Increase of TCA ^z (cm ²)	Leaf area (cm ² /ea)	Shoot length (m)	Shoot diameter (mm)
-20	26.4 ± 6.9 ^y a ^x	36.5 ± 2.3 a	0.82 ± 0.29 b	5.8 ± 2.2 c
-40	29.6 ± 12.4 a	40.9 ± 2.7 a	1.03 ± 0.27 a	7.1 ± 2.3 b
-60	26.7 ± 17.0 a	39.3 ± 5.4 a	1.03 ± 0.30 a	8.0 ± 2.9 a
-80	8.9 ± 12.8 a	36.0 ± 2.1 a	0.76 ± 0.25 b	4.9 ± 1.7 d

^zMean the value obtained by subtracting the trunk cross-section area measured in October and June.

^yAverage ± standard deviation (n = 3).

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

감소는 당년 과실 크기 저하 및 다음해 착과 감소로 이어질 것으로 추정된다.

3. 수체 생리 반응

관수 개시점에 따른 수체 생리 반응을 분석하기 위하여 한 달 간격으로 생육 시기별 광합성률, 기공전도도, 증산율, SPAD를 조사하였다(Fig. 5). 7월까지 광합성률은 -60kPa, -40kPa 처리구가 -80kPa, -20kPa 처리구보다 높은 경향을 보였으며, 8월의 광합성률은 -60kPa($17.7\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), -40kPa($15.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), -20kPa($14.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), -80kPa($14.0\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 순으로 높았다(Fig. 5A). 기공전도도와 증산율은 광합성률과 같은 경향으로 -60kPa 처리구에서 높았으나 통계적 유의차는 없었다(Fig. 5B, 5C). 작물은 건조한 토양 환경에서 수분 스트레스를 받으면 기공을 닫아 증산 작용으로 인한 수분 손실을 막는다(Anjum 등, 2011). 침수된 환경에서는 뿌리 산소 결핍 및 투수성 감소로 식물체 내부의 수분 스트레스 증가와 잎의 탈수 현상으로 기공이 폐쇄된다(Pezeshki와 DeLaune, 2012). 이러한 수분 스트레스 환경에

서의 기공 폐쇄는 기공전도도 감소와 함께 광합성률 저하로 이어진다(Guerfel 등, 2009). 본 연구에서도 -80kPa, -20kPa 처리구의 건조와 과습의 수분 스트레스로 인하여 기공 폐쇄가 발생하여 광합성률 저하에 영향을 미친 것으로 판단된다.

생육 초기인 5월 27일과 수확 이후인 8월 29일에 측정된 SPAD 값은 -60kPa, -40kPa 처리구보다 -80kPa, -20kPa 처리구에서 낮았다(Fig. 5D). 건조 또는 과습과 같은 생육에 불량한 토양 조건에서 작물의 엽록소 생성이 저해되거나, 생성된 엽록소의 파괴로 함량이 감소된다(Khaleghi 등, 2012; Zhang 등, 2023). 본 연구에서도 -80kPa, -20kPa 처리구의 수분 스트레스에 의해 엽록소 함량이 다소 감소한 것을 확인하였다.

4. 과실 품질 및 수확량

수확일은 -20kPa 처리구가 8월 5일로 다른 처리구와 비교하여 3일 빠르게 도달하였다(Table 3). 이러한 결과는 건조한 토양 수분 환경보다 충분하게 관수한 조건에서 복숭아 수확기가 빨랐던 연구 결과와 일치한다(Larson 등, 1988). 과중

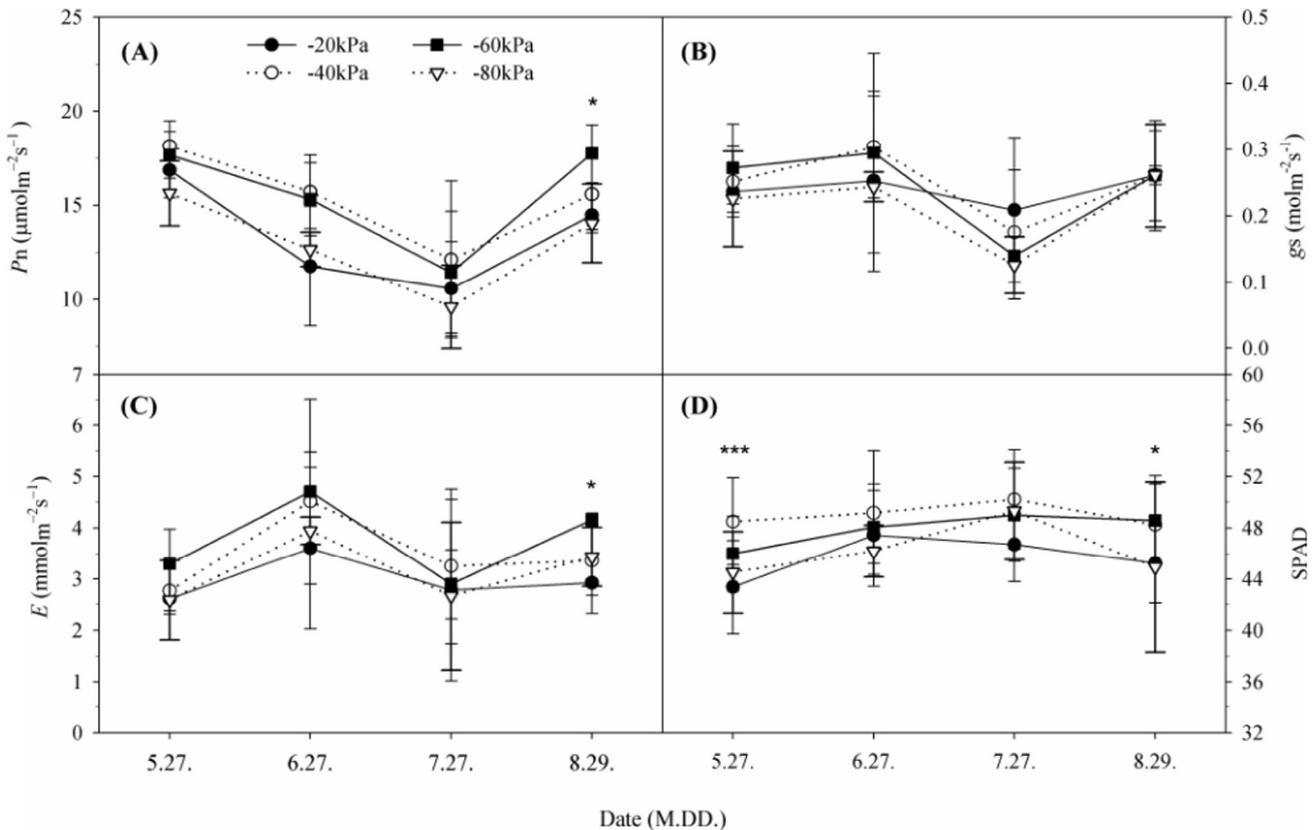


Fig. 5. Changes of (A) photosynthetic rate, (B) stomatal conductance, (C) transpiration and (D) SPAD under different irrigation starting point during the experimental period in 2022. Vertical bars represent the standard error of means from four replications. The asterisks * and *** indicate significant difference at $p < 0.05$ and 0.001 respectively.

은 -60kPa(379.1g), -40kPa(344.0g), -80kPa(321.0g), -20kPa(274.9g) 순으로 높았으며, 과실 종경과 횡경은 -60kPa 처리구에서 각각 82.8mm, 92.9mm로 가장 컸다 (Table 3). 이러한 결과는 전생육기 동안 적정 관수한 대조구 대비 62.5% 수준으로 관수를 한 처리구에서 복숭아의 과중 및 크기가 현저하게 감소한 결과와 일치한다(Faci 등, 2014). 또한 건조한 토양 환경보다 과습한 조건에서 뿌리 주변의 산소 부족으로 양수분 흡수가 저해된다(Choi 등, 2017). 본 연구에서도 -80kPa의 건조 조건보다 -20kPa의 과습한 조건에서 과중이 현저하게 감소하였으며, 이는 양수분 흡수 저해 및 광합성 등 수체 생리반응의 저하가 원인인 것으로 추정된다. 과

실 경도는 -20kPa 처리구에서 38.3N으로 다른 처리구와 비교하여 다소 낮았으며(Table 4), 수분이 부족한 환경보다 증발산량 100%로 관수를 한 처리구에서 복숭아 과실의 경도가 낮았다는 연구 결과와 일치한다(Alcobendas 등, 2013). 또한 관수량이 많아질수록 경도가 감소하는 경향이 있으며, 이는 과육 세포의 분열과 확장, 세포 배열 밀도 등과 관련이 있다고 하였다(Zhou 등, 2017). 가용성 고형물 함량은 -60kPa 처리구에서 13.3°Bx로 가장 높았으며, -80kPa에서 12.9°Bx, -40kPa에서 12.8°Bx, -20kPa에서 12.6°Bx 순으로 낮았다 (Table 4). 복숭아의 당도는 수확기의 토양 수분에 영향을 크게 받으므로 수확 전 단수 처리를 하여 당도를 증진시킬 수 있

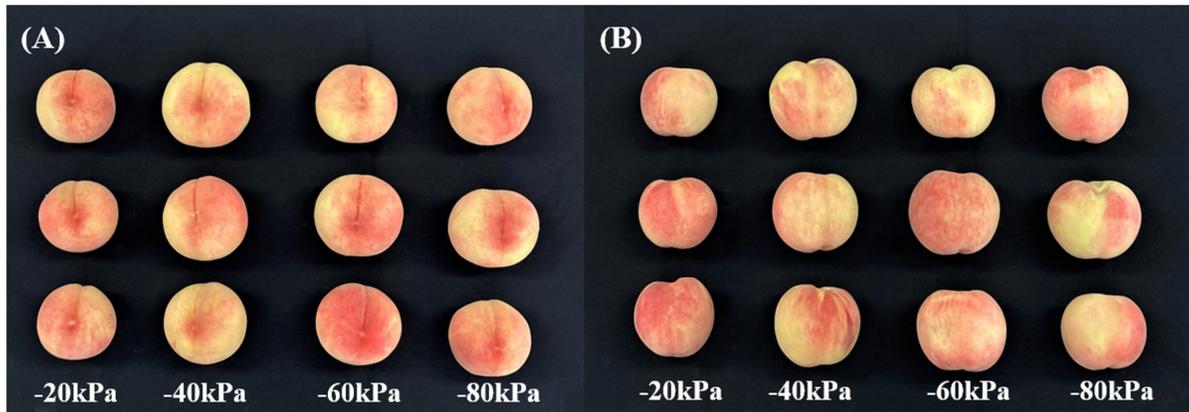


Fig. 6. Comparison of the color of (A) fruit suture and (B) side under different irrigation starting point in peach ‘Kawanakajima Hakuto’.

Table 3. Comparison of harvest dates, fruit weight, length and width under different irrigation starting point in peach ‘Kawanakajima Hakuto’.

Treatment (kPa)	Harvest date	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)
-20	8.5.	274.9 ± 16.4 ^z d ^y	75.9 ± 2.8 c	84.8 ± 4.8 c
-40	8.8.	344.0 ± 48.4 b	80.3 ± 4.1 b	89.4 ± 4.4 b
-60	8.8.	379.1 ± 44.0 a	82.8 ± 3.7 a	92.9 ± 4.1 a
-80	8.8.	321.0 ± 21.4 c	79.0 ± 2.3 b	87.4 ± 2.5 b

^zAverage ± standard deviation (n = 30).

^yMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

Table 4. Comparison of firmness, soluble solids, acidity and fruit skin color under different irrigation starting point in peach ‘Kawanakajima Hakuto’.

Treatment (kPa)	Firmness (N)	Soluble solids (°Bx)	Acidity (%)	L*	a*	b*
-20	38.3 ± 10.6 b	12.6 ± 0.8 b	0.241 ± 0.041 b	55.3 ± 6.0 b	16.9 ± 7.1 a	17.0 ± 2.4 c
-40	43.2 ± 5.7 a	12.8 ± 1.0 b	0.263 ± 0.047 ab	58.6 ± 5.6 a	10.1 ± 6.7 bc	19.6 ± 2.7 ab
-60	39.9 ± 9.4 ab	13.3 ± 1.1 a	0.271 ± 0.046 a	60.8 ± 4.4 a	8.8 ± 6.1 c	19.9 ± 2.3 a
-80	40.9 ± 6.1 ab	12.9 ± 0.7 ab	0.249 ± 0.040 ab	58.1 ± 5.9 ab	13.1 ± 7.0 b	18.4 ± 2.5 b

^zAverage ± standard deviation (n = 30).

^yMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

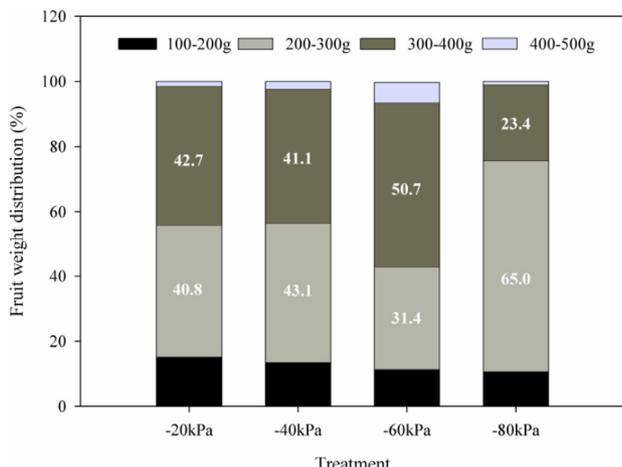


Fig. 7. Comparison of fruit weight distribution under different irrigation starting point in peach ‘Kawanakajima Hakuto’.

으며(Yun 등, 2017), 본 연구에서도 토양 수분이 많은 -20kPa 처리구보다 적정 조건인 -60kPa 처리구에서 당도가 증가한 결과와 일치하였다. 산 함량은 -80kPa 처리구에서 0.271%로 가장 높고, -20kPa 처리구에서 0.241%로 낮았지만, 처리 간에 뚜렷한 경향성은 보이지 않았다(Table 4). 색도는 처리 간에 경향성은 보이지 않았으나, -20kPa 처리구의 a* 값이 16.9로 가장 높았다(Table 4, Fig. 6). 안토시아닌 축적은 빛, 온도, 식물 호르몬 등의 여러 요인이 복합적으로 작용하며, 식물 호르몬 중 ABA가 망고, 포도, 복숭아 등의 과피 착색을 증진시킨다고 알려져 있다(Kumar 등, 2020). 본 연구에서도 -20kPa의 과습한 조건에서 ABA 생성이 증가하고, 안토시아닌 축적이 증가하였을 것으로 추정된다. 전체 수확한 과실 개수에서 상품성이 높은 300-400g 과실의 비율은 -60kPa 처리구에서 50.7%로 가장 높았고, -80kPa 처리구에서 23.4%로 가장 낮았다(Fig. 7). 본 연구의 결과는 복숭아를 대상으로 건조 스트레스 처리 시, 적정 관수를 한 대조구보다 주당 수확량 및 과중이 현저하게 감소한 결과와 일치한다(Guizani 등, 2019; Rahmati 등, 2015).

5. 수분 이용 효율

처리구별 수분 이용 효율(WUE, water use efficiency)과 관수 이용 효율(iWUE, irrigation water use efficiency)을 비교한 결과, 관수 개시점이 낮아질수록 수분 이용 효율이 증가하는 경향을 나타냈다(Table 5). 물이 부족한 지역에서 증발산량의 75% 수준으로 관수하는 적절한 부족 관개(deficit irrigation)는 수량을 유지하고 과실 품질은 향상시키면서, 관개 용수를 절약할 수 있다. 그러나 증발산량의 50%, 25% 수준으로 관수하는 극심한 부족 관개는 수분 이용 효율은 증가

Table 5. Comparison of water use efficiency and irrigation water use efficiency under different irrigation starting point during the experimental period in 2022.

Treatment (kPa)	Water use efficiency (kg/m ³)	Irrigation water use efficiency (kg/m ³)
-20	1.32	4.23
-40	8.77	8.77
-60	9.19	9.19
-80	14.22	14.22

시킬 수 있으나 수량은 현저하게 저하시킨다(Zhou 등, 2017). 본 연구에서도 관수 개시점을 -80kPa 수준으로 낮추어 수분 이용 효율을 증대시킬 수 있으나, 과실 품질 및 상품과 수량은 현저하게 저하된 것을 확인하였다.

이상의 결과들을 종합하면 노지 복숭아 과원에서 관수 개시점을 -80kPa 또는 -20kPa로 설정하여 토양 환경이 매우 건조하거나 과습한 경우, 신초 길이와 두께 성장과 같은 수체 생육 및 광합성률의 감소로 인해 과실 품질이 저하된다. 따라서 과중과 가용성 고형물 함량, 수확량 및 상품과 비율을 고려하여 관수 개시점을 -60kPa로 설정하는 것이 복숭아 생산량 및 과실 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 노지 복숭아 과원에서 관수 개시점에 따른 복숭아 ‘천중도백도’의 수체 생육, 생리 반응 및 과실 품질과 생산성 변화를 분석하여 적정 관수 개시점을 구명하고자 수행하였다. 시험 재료는 전라북도 완주군에 위치한 국립원예특작과학원 내의 노지 복숭아 시험포(35°49'30.4"N, 127°01'33.2"E)에 재식된 7년생 ‘천중도백도’ [*Prunus persica* (L.) ‘Kawanakajima Hakuto’]를 사용하였으며, 2022년 6월부터 9월까지 관수 개시점을 -20, -40, -60, -80kPa로 설정하였다. 주간부 단면적 증가량과 엽면적은 처리 간 통계적 유의차가 없었으나, 신초 길이와 두께는 -80kPa 및 -20kPa 처리구에서 감소하였다. 8월에 측정된 광합성률은 -60kPa(17.7 μmol·m⁻²·s⁻¹), -40kPa(15.6 μmol·m⁻²·s⁻¹), -20kPa(14.5 μmol·m⁻²·s⁻¹), -80kPa(14.0 μmol·m⁻²·s⁻¹) 순으로 높았다. 5월과 8월에 측정된 SPAD 값은 -60kPa 및 -40kPa 처리구보다 -80kPa 및 -20kPa 처리구에서 낮았다. 수확기는 -20kPa 처리구가 다른 처리구와 비교하여 3일 빠르게 도달하였다. 과중은 -60kPa(379.1g), -40kPa(344.0g), -80kPa(321.0g), -20kPa(274.9g) 순으로 높았다. 경도는 -20kPa 처리구에서 가장 낮았다. 가용성 고형물 함량은 -60kPa 처리구에서

13.3°Bx로 가장 높았다. 상품과 비율은 -60kPa 처리구에서 50.7%로 가장 높았고, -80kPa 처리구에서 23.4%로 가장 낮았다. 따라서 노지 복숭아 과원에서 관수 개시점을 -60kPa로 설정하는 것이 생산량 및 과실 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

추가주제어: 토양 수분 장력, 수체 생육, 광합성, 과중, 가용성 고형물 함량

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2020-RD 009124)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- Alcobendas R., J.M. Mirás-Avalos, J.J. Alarcón, and E. Nicolás 2013, Effects of irrigation and fruit position on size, colour, firmness and sugar contents of fruits in a mid-late maturing peach cultivar. *Sci Hort* 164:340-347. doi:10.1016/j.scienta.2013.09.048
- Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith 1998, Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, p 24.
- Anjum S.A., X. Xie, L. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei 2011, Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr J Agric Res* 6:2026-2032.
- Berman M.E., and T.M. Dejong 1996, Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiol* 16:859-864. doi:10.1093/treephys/16.10.859
- Choi Y.M., S.M. Jung, and D.G. Choi 2017, Effects of heavy rain during rainy season and drainage methods on soil water content, photosynthesis characteristics, and growth in 'Jinok' and 'Campbell Early' grapes. *Korean J Agric For Meteorol* 19:1-9. (in Korean) doi:10.5532/KJAFM.2017.19.1.1
- Chung H.D. 2000, Water management for improvement of quality and productivity of vegetable crops. *Korean J Hort Sci Technol* 18:420-436. (in Korean)
- Faci J.M., E.T. Medina, A. Martinez-Cob, and J.M. Alonso 2014, Fruit yield and quality response of a late season peach orchard to different irrigation regimes in a semi-arid environment. *Agric Water Manag* 143:102-112. doi:10.1016/j.agwat.2014.07.004
- Farina V., R.L. Bianco, and P. Inglese 2005, Vertical distribution of crop load and fruit quality within vase- and Y-shaped canopies of 'Elegant Lady' peach. *HortScience* 40:587-591. doi:10.21273/HORTSCI.40.3.587
- Girona J., M. Mata, D.A. Goldhamer, R.S. Johnson, and T.M. Dejong 1993, Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J Am Soc Hortic Sci* 118:580-586. doi:10.21273/JASHS.118.5.580
- Guerfel M., O. Baccouri, D. Boujnah, W. Chaïbi, and M. Zarrouk 2009, Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Sci Hort* 119:257-263. doi:10.1016/j.scienta.2008.08.006
- Guizani M., S. Dabbou, S. Maatallah, G. Montevecchi, H. Hajlaoui, M. Rezig, A.N. Helal, and S. Kilani-Jaziri 2019, Physiological responses and fruit quality of four peach cultivars under sustained and cyclic deficit irrigation in center-west of tunisia. *Agric Water Manag* 217:81-97. doi:10.1016/j.agwat.2019.02.021
- Iacona C., M. Cirilli, A. Zega, E. Frioni, C. Silvestri, and R. Muleo 2013, A somaclonal myrobalan rootstock increases waterlogging tolerance to peach cultivar in controlled conditions. *Sci Hort* 156:1-8. doi:10.1016/j.scienta.2013.03.014
- Khaleghi E., K. Arzani, N. Moallemi, and M. Barzegar 2012, Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful. *World Acad Sci Engin Technol* 68:1154-1157.
- Kim W., Y. Lee, T.K. Oh, and J. Sung 2022, Water/nutrient use efficiency and effect of fertigation: a review. *Korean J Agric Sci* 49:919-926. (in Korean)
- KMA (Korea Meteorological Administration) 2021, Climate change report. KMA, Seoul, Korea, pp 21-23.
- Kuma S.P., D. Maurer, O. Feygenberg, C. Love, and N. Alkan 2020, Improving the red color and fruit quality of 'Kent' mango fruit by pruning and preharvest spraying of prohydrojasmon or abscisic acid. *Agronomy* 10:944-955. doi:10.3390/agronomy10070944
- Kwon Y.H., J.M. Lee, H.H. Han, S. Ryu, J.H. Jeong, G.R. Do, J.H. Han, H.C. Lee, and H.S. Park 2016, Physiological responses for soil water stresses in 'Mihong' peach tree. *Protected Hort Plant Fac* 25:255-261. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2016.25.4.255
- Larson K.D., T.M. Dejong, and R.S. Johnson 1988, Physiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress. *J Am Soc Hortic Sci* 113:296-300. doi:10.21273/JASHS.113.3.296
- Lee J.H. 2018a, Understanding of drought stress signaling network in plants. *J Life Sci* 28:376-387. (in Korean)
- Lee K.C. 2018b, Changes in photosynthetic performance and water relation parameters in the seedlings of korean *Dendropanax* subjected to drought stress. *Korean J Med Crop Sci* 26:181-

187. (in Korean) doi:10.7783/KJMCS.2018.26.2.181
- Mahhou A., T.M. Dejong, K.S. Shackel, and T. Cao 2006, Water stress and crop load effects on yield and fruit quality of elegant lady peach [*Prunus persica* (L.) Batch]. *Fruits* 61:407-418. doi:10.1051/fruits:2006040
- Moon J.W. 2018, Analysis of reference evapotranspiration change in Korea by climate change impact. *J. Korean Soc Hazard Mitig* 18:71-81. (in Korean) doi:10.9798/KOSHAM.2018.18.7.71
- NAS (National Institute of Agricultural Sciences) 2000, Methods of soil chemical analysis. NAS, Jeonju, Korea.
- NAS (National Institute of Agricultural Sciences) 2018, Irrigation technologies for field crops according to soil, crops and regions. NAS, Jeonju, Korea, p 214.
- Pezeshki S.R. and R.D. DeLaune 2012, Soil oxidation-reduction in wetlands and its impact on plant functioning. *Biology* 1:196-221. doi:10.3390/biology1020196
- Rahmati M., G. Vercambre, G. Davarynejad, M. Bannayan, M. Azizi, and M. Genard 2015, Water scarcity conditions affect peach fruit size and polyphenol contents more severely than other fruit quality traits. *J Sci Food Agric* 95:1055-1065. doi:10.1002/jsfa.6797
- RDA (Rural Development Administration) 2013, Farming skill guide: Peach cultivation. RDA, Jeonju, Korea, p 124.
- Taiz L., and E. Zeiger 2002. *Plant physiology*. Sinauer Associates, MA, USA.
- Thoma D., and E. Kullaj 2014. Selection of flood-tolerant prunus rootstocks using sap flow. *Agric For* 60:111-117.
- Watanabe T., J. Cullmann, C.S. Pathak, M. Turunen, K. Emami, G. Ghinassi, and Y. Siddiqi 2018, Management of climatic extremes with focus on floods and droughts in agriculture. *Irrig Drain* 67:29-42. doi:10.1002/ird.2204
- Xiao Y., X. Wu, M. Sun, and F. Peng 2020, Hydrogen sulfide alleviates waterlogging-induced damage in peach seedlings via enhancing antioxidative system and inhibiting ethylene synthesis. *Front Plant Sci* 11:696-709. doi:10.3389/fpls.2020.00696
- Yoon T.M. 2001, Water relations of ‘Fuji’ apple trees in soil water controlled orchard. *J Korean Soc Hortic Sci* 42:549-552. (in Korean)
- Yun S.K., S.J. Kim, E.Y. Nam, J.H. Kwon, K.H. Chung, I.M. Choi, G. Kim, and H. Shin 2017, Changes of tree growth and fruit quality of “Yumi” peach under long-term soil water deficit. *J Biosyst Eng* 42:276-282.
- Zhang B., M. Sun, W. Liu, M. Lian, S. Yang, F. Peng, and Y. Xiao 2023, Waterlogging resistance and evaluation of physiological mechanism of three peach (*Prunus persica*) rootstocks. *Protoplasma* 260:1375-1388. doi:10.1007/s00709-023-01850-w
- Zhou H., F. Zhang, K. Roger, L. Wu, D. Gong, N. Zhao, D. Yin, Y. Xiang, and Z. Li 2017, Peach yield and fruit quality is maintained under mild deficit irrigation in semi-arid China. *J Integr Agric* 16:1173-1183. doi:10.1016/S2095-3119(16)61571-X