

이식 및 수확시기에 따른 쪽의 생엽수량 및 색소함량의 변화

고재형 · 김성주 · 이후관 · 김관수[†]

목포대학교 자연과학대학 한약자원학과

Changes of Fresh Leaf Yield and Colorant Level with Different Transplanting and Harvest Time in *Persicaria tinctoria* H. Gross

Jae-Hyung Ko, Seong-Ju Kim, Hoo-Kwan Lee, and Kwan-Su Kim[†]

Department of Oriental Medicine Resources, College of Natural Science, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

ABSTRACT This study was conducted to determinate the optimum times of transplanting and harvest for enhancing the fresh leaf yield and colorant level of an indigo crop, *Persicaria tinctoria* H. Gross, containing the blue dye indigo. Two cultivars, Naju Local and a new cultivar, NaramBlue, were transplanted 5 times from May 30 to July 10 at an interval of 10 days, and all of experiment plots harvested on Aug. 23 in Muan, the south area of Korea. As transplanting time was delayed, fresh leaf yield were maximum at earliest transplanting (May 30) and then decreased, while Niram (blue dye extract) and indigo content of fresh leaf remained almost constant though showed a small variation. Also, two cultivars transplanted on May 23 were harvested 5 times from Jul. 20 to Sept. 20 at an interval of 15 days. As harvest time was delayed, plant height, No. of first branches, and fresh leaf yield changed increasingly, while Niram content was increased to Aug. 20 and then decreased slightly. Indigo level increased largely to Aug. 5, and then continuously decreased with more delayed harvest. These tendencies of changes in fresh leaf yield and colorant level with different transplanting and harvest times were shown similarly in both cultivars. The results indicate that early transplanting before May 30 and harvest in early August will be appropriate for improving fresh leaf yield and colorant level.

Keywords : *Persicaria tinctoria* H. Gross, indigo crop, blue dye extract, colorant level, fresh leaf yield, harvest time, transplanting time

천연 청색염료인 인디고(Indigo)를 함유하는 식물은 세계 각지에 23과 100종 이상이 초본 또는 목본으로 분포하는 것으로 알려져 있다. 이러한 인디고 식물들은 다양한 원산지를 가지며 식물의 생육 및 색소특성이 재배지 및 자생지에 따라 다양성을 보이지만, 주로 식물성 염료로 사용되는 것은 인디고 함유량이 높은 종들이다(Heo, 2011). 이러한 인디고식물은 인도, 아프리카 등 열대지방에서 재배하는 콩과 목본식물인 인도쪽나무(*Indigofera* spp.), 한국, 중국, 일본 등에서 재배하는 마디풀과(Polygonaceae) 일년생 초본식물인 쪽(*Persicaria tinctoria* H. Gross), 그리고 유럽지역에서 주로 생산되는 십자화과 월년생 초본식물인 대청(*Isatis tinctoria* L.)이 있다(Shim *et al.*, 1998; John & Angelini, 2009). 쪽(*Persicaria tinctoria* H. Gross)은 우리나라에서 전통적으로 청색염료로 사용하는 인디고(indigo) 함유식물로서 추출된 청색소를 남(藍)이라고 하며, 한의학적으로 열을 내리고 해독하는 청열해독(淸熱解毒) 작용을 가지고 있는 청대(靑黛)라는 한약재로 사용되고 있다.

쪽의 생엽 중에는 색소 성분인 인디고(indigo)가 함유되어 있지 않고, 인디고로 변화될 수 있는 전구체인 무색의 인디칸(indican)으로 존재하고 있다. 인디칸은 수용성인 글루코스(glucose) 화합물로서 수용액 중에서 가수분해가 되면 글루코스와 무색의 인독실(indoxyl)의 두 가지 성분으로 분해된다. 인독실은 공기 중의 산소에 의해 산화가 되고 이합체화 반응으로 청색 성분인 인디고로 변화되는 복잡한 과정을 가지고 있다(Minami *et al.*, 1997). 청색소로서 인디고는

[†]Corresponding author: (Phone) +82-61-450-2661 (E-mail) kskim@mokpo.ac.kr
<Received 26 February, 2013; Revised 15 May, 2013; Accepted 16 May, 2013>

물에 잘 녹지 않는 불용성이므로 염료로 이용하기 위해서는 수용성인 인독실로 환원시켜야하며(Chung *et al.*, 1998), 이 반응은 가역적인 반응으로서 수용성 구조는 공기 중의 산소와 만나면 다시 산화되어 불용성의 인디고로 변하면서 염색 과정을 마치게 된다(Torimoto, 1987). 이와 같은 쪽의 화학적 특성 때문에 색소를 침전시켜 남(藍)을 만든 후 저장하면서 필요할 때 발효하여 사용하는 염색방법이 우리나라에서 주로 이용되는 방법이다. 쪽 염색물은 세탁, 일광에 비교적 강한 견뢰도를 지니고 있으며(Park *et al.*, 2011), 염색제품을 비롯하여 비누, 화장품류, 차, 건강보조제, 치약, 미백제, 피부자극 완화제, 의약품 등 다양하게 이용되기도 하며, 항균, 항암, 혈압강화 작용, 피임 작용, 간 보호 작용, 진정 작용, 항산화 작용 등 여러 가지 생리기능을 갖는 것으로 알려져 있다(Han & Choi, 2000; Seo, 2008; Heo, 2009; Lin *et al.*, 2009).

쪽은 지역별로 재배방법이 다소 다르며, 주로 논이나 밭에서 이식재배를 하고 비닐 피복을 하기도하며 주로 개화 전 7-8월에 생업을 수확하여 니람을 추출하여 염색에 사용하고 있다(Kim *et al.*, 2012). 파종은 보통 정식 40-50일 전에 하며 트레이를 이용한 육묘상자에 파종할 때는 3월 하순에서 4월 상순에 파종하여 육묘한 다음 20-30일 이후 묘를 이식한다. 수확시기는 이식 후 60-80일경 녹색의 푸른 잎에 검붉은 반점이 생기는 시기에 수확하는 것이 좋지만 품종에 따라서는 개화시기에 차이가 많고 작부체계에 따라 수확시기가 달라진다(Heo, 2009). 유럽에서 주로 재배되는 십자화과에 속하는 염료식물인 대청이나 쪽을 대상으로 경엽 수량 및 인디고 전구물질의 시기별 변화 등에 대한 연구결과가 보고되고 있다(Angelini *et al.*, 2004; Sales *et al.*, 2006; Campeol *et al.*, 2006). 그리고 대청 근연종(*Isatis indigotica* Fort.)이 대청보다 인디고 전구물질 생산성이 높지만 엽 수량은 적다는 보고도 있다(Angelini *et al.*, 2007). 국내에서 쪽 조직배양이나 모상근 배양을 통한 인디고 생합성관련 연구도 있지만(Shim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2006) 재배나 육종관련 연구결과는 적은 편이다. 최근 쪽의 나주지역 재래집단에서 순계분리하여 육성한 나람블루 품종이 육성되었고(Kim *et al.*, 2012), 식물반응기작을 이용한 식물면역활성제(elicitor) 처리에 의해 인디고 함량을 증가시킨 결과가 보고되었다(Jin *et al.*, 2012). 국내에서 재래종을 가지고 관행방법에 의해 재배되고 있지만 재식밀도, 시비량, 이식시기, 수확시기 등의 재배법과 수량 및 색소함량과의 관계를 설명할 수 있는 연구를 통한 체계적인 재배기술 확립이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 쪽 두품종, 나주재래종과 신품종 나람블

루를 재배할 때 생엽수량과 색소함량이 높은 이식시기와 수확시기를 알아보고자 재배시험을 수행한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재배방법 및 생육 특성조사

실험에 사용된 쪽 품종은 나주지역에서 주로 재배되는 나주재래종(Naju Local)과 순계분리 육종하여 개발된 신품종 나람블루(NaramBlue, 품종보호 출원번호 2012-3)이며, 2012년 4월 19일에 전라남도 무안소재 목포대학교 부속농장에서 파종 후 비닐하우스 조건에서 육묘를 하고 노지조건에서 비닐피복 후 정식하여 재배하였다. 육성된 묘는 적정 이식시기 구명시험에서는 5월 30일부터 7월 10일 까지 10일 간격으로 5회에 걸쳐 이식하였으며 재배 후 모두 8월 23일에 수확하였다. 적정 수확시기 구명시험에서 모든 처리는 5월 23일에 이식하여 재배하였으며 7월 20일부터 9월 20일까지 15일 간격으로 5회에 걸쳐 수확하였다.

파종은 105구 육묘포트를 사용하였으며 구당 3-5립 파종 후 1개체씩 남겨두고 솟아주었다. 육묘 후 주간 50 cm 조건 30 cm로 이식하여 재배하였으며, 모든 시험구는 3반복으로 수행하였다. 생육 및 수량 조사형질은 초장, 1차분지수, 지상부 생엽중 등이며 적정 이식시기 구명시험에서는 수확시 8월 23일에 조사하였으며, 적정 수확시기 구명시험에서는 7월 20일부터 9월 20일 까지 15일 간격으로 매회 수확할 때 생육조사를 하였다. 초장은 지표면으로부터 지상부 길이를 반복당 10개체를 측정하였으며, 1차 분지수는 주가지에서 뻗어 나온 가지들의 수를 반복당 5개체 조사하였다. 지상부 생엽중은 반복당 10개체를 전정가위로 수확한 후 마대자루에 넣어 무게를 측정하였다.

쪽 염료추출물인 니람(Niram)과 인디고 함량 측정을 위해서 지상부 정단부위로부터 3-4번째 마디의 잎을 반복당 5개 채취하였다. 채취된 쪽의 생엽에서 추출된 니람의 건조 무게를 측정하였으며, 추출된 니람은 인디고 함량분석 시료로 사용되었다.

색소함량 분석 및 통계처리

니람 추출은 지상부 정단부위로부터 3-4번째 엽을 채취하여 50 ml 코니칼튜브에 증류수 40 ml를 넣고 침지시킨 후 48시간 추출하고 추출액에 소석회 약 0.2 g을 첨가하여 니람을 침전시켰다. 침지 48시간 후 추출되지 않은 경우 2회 추출을 하였으며, 추출된 니람은 상층액을 제거한 후 건조한 무게를 측정하였다. 인디고 함량분석을 위해서 추출된 니람을 DMSO(dimethyl sulfoxide) 용매로 녹인 분석시료

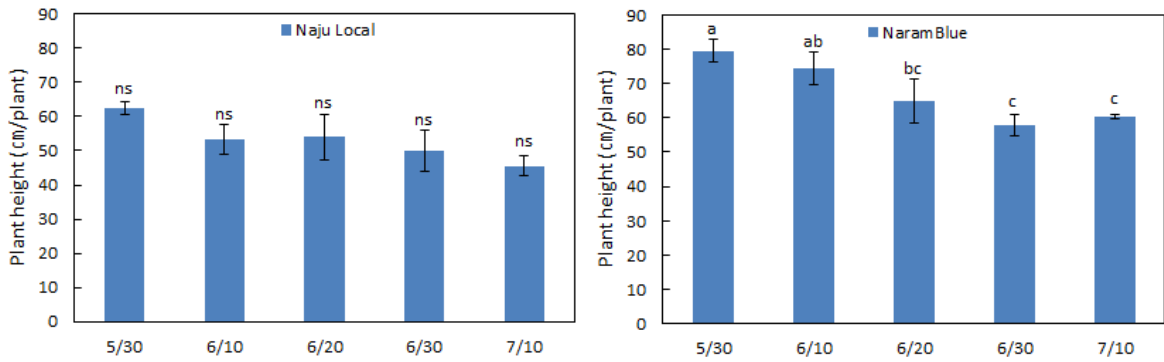


Fig. 1. Changes of plant height with different transplanting times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

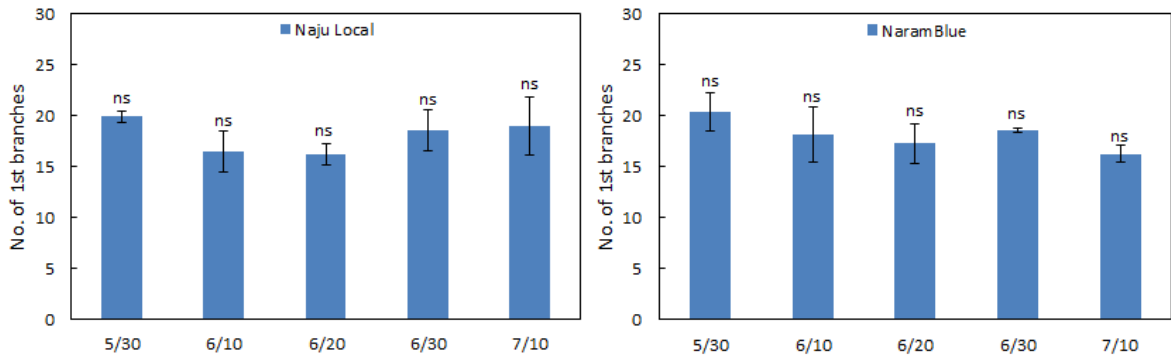


Fig. 2. Changes of number of 1st branches with different transplanting times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

액을 색소분석기(Epoch Microplate Reader, BioTek Instruments, Inc., USA)를 이용하여 UV 620 nm에서 측정하고 인디고 표준액의 검량선을 이용하여 인디고를 정량하였다.

모든 자료의 통계분석은 SPSS PASW STATISTICS 18.0(IBM Corp., USA)을 사용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며 던칸의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 처리평균간 유의성 검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

이식시기에 따른 생육특성 및 생엽수량 변화

이식시기에 따른 나주재래종과 나람블루 두 품종의 생육 특성을 조사한 결과는 Fig. 1과 Fig. 2와 같다. 나람블루의 초장이 나주재래종 보다 대체적으로 높게 나타났으며, 두 품종 모두 이식시기가 늦어질수록 초장이 계속 감소하는 경향을 보였지만 나람블루에서만 유의성을 나타냈다. 1차분 지수의 경우 다소 차이는 있으나 두 품종 모두 이식시기에

따라 유의적인 차이는 보이지 않았다.

지상부 생엽중을 비교한 결과는 Fig. 3과 같다. 두 품종 모두 5월 30일 이식한 시험구에서 가장 높은 생엽수량을 보였는데, 나주재래종은 4.7 kg/m², 나람블루는 4.2 kg/m²의 생엽수량을 나타냈다. 5월 30일 이후 이식시기가 늦을수록 두 품종 모두 계속 감소하는 경향을 보였다. 첫 이식시기에서는 나람블루는 나주재래종 보다 수량이 낮았으나 이후 이식시기에서는 나람블루가 대체적으로 수량이 높았다. 따라서 쪽 재배에서 생엽수량을 높이기 위해서는 가능한 이식시기를 빨리 하는 것이 유리한 것으로 판단되었다.

이식시기에 따른 색소함량 변화

두 품종의 이식시기에 따른 니람함량 변화는 Fig. 4와 같다. 나주재래종이 나람블루보다 대체로 높은 편이지만 두 품종 모두 이식시기별 유의적 함량차이를 보이지 않았으며 생엽 100 g당 6-8 g의 니람함량 분포를 나타냈다. 인디고 함량 변화는 Fig. 5와 같은데, 이식시기별 차이가 다소 있었지만 통계적 유의성을 보이지 않았다. 나주재래종의 경우

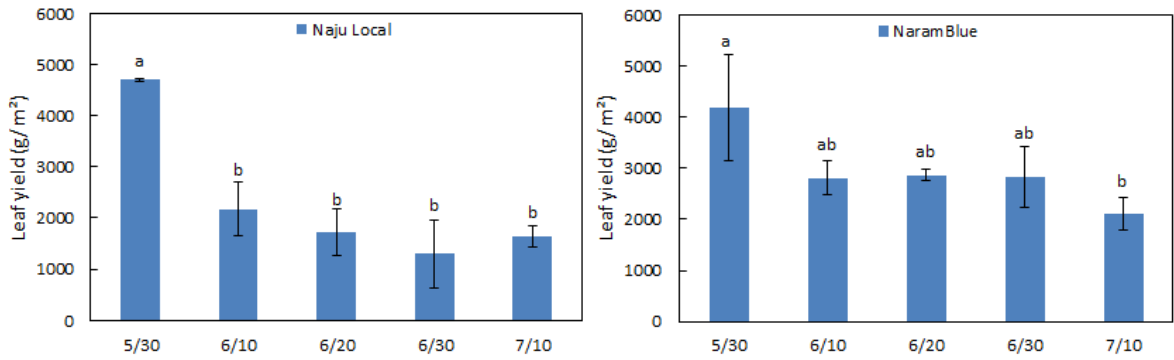


Fig. 3. Changes of fresh leaf yield with different transplanting times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

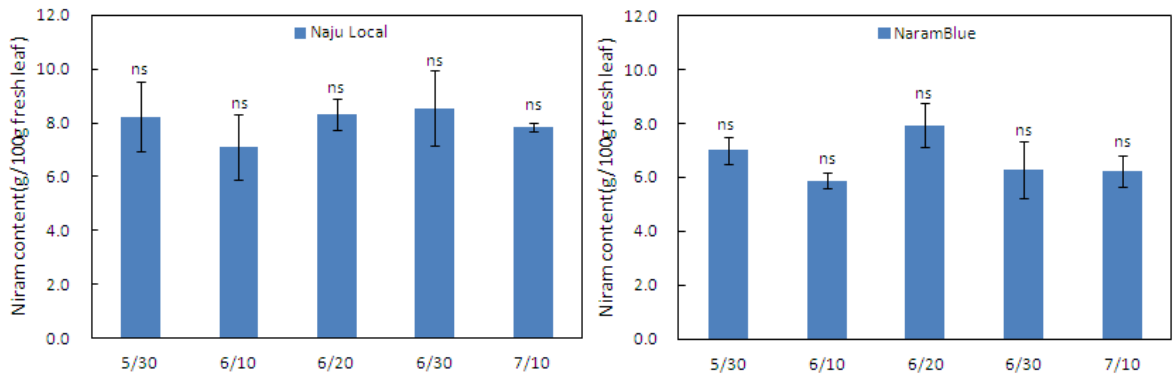


Fig. 4. Changes of Niram content with different transplanting times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. ns=not significant.

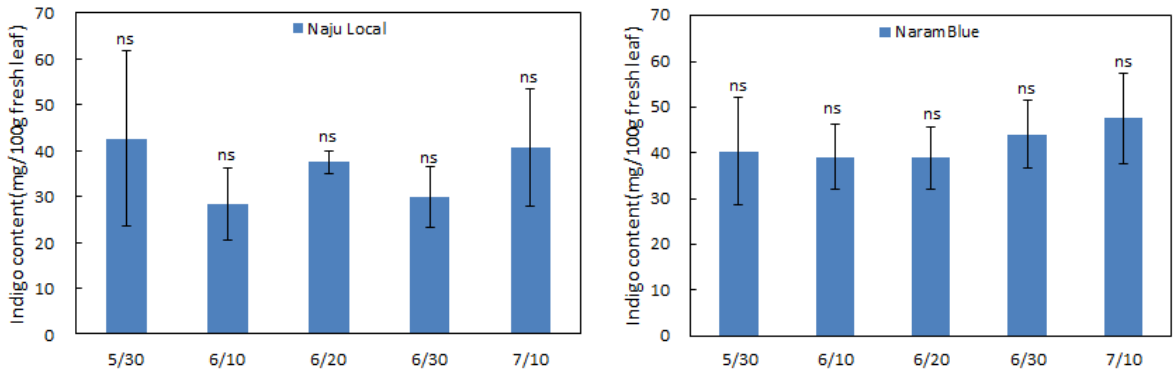


Fig. 5. Changes of indigo content with different transplanting times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. ns=not significant.

5월 30일에 생엽 100 g당 42.5 mg의 인디고함량을 보였고 나람블루는 7월 10일에 47.6 mg으로 가장 높은 함량을 보였다. 따라서 나람이나 인디고함량은 이식시기에 따른 차이는 크지 않은 것으로 생각되었으며, 높은 생엽수량을 얻기

위해서는 이식시기가 중요하게 영향을 미치지만 색소함량을 높이는 면에서는 기상조건이나 수확시기와 같은 재배방법이 중요할 것으로 생각되었다.

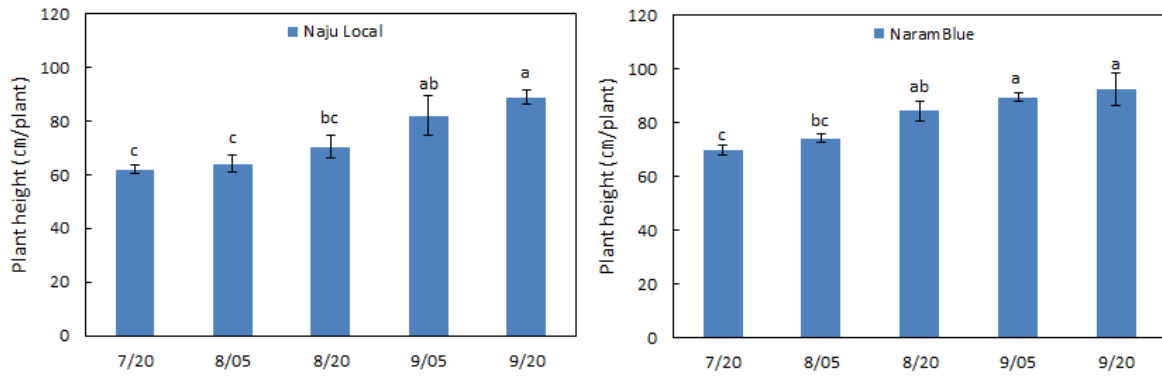


Fig. 6. Changes of plant height with different harvest times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

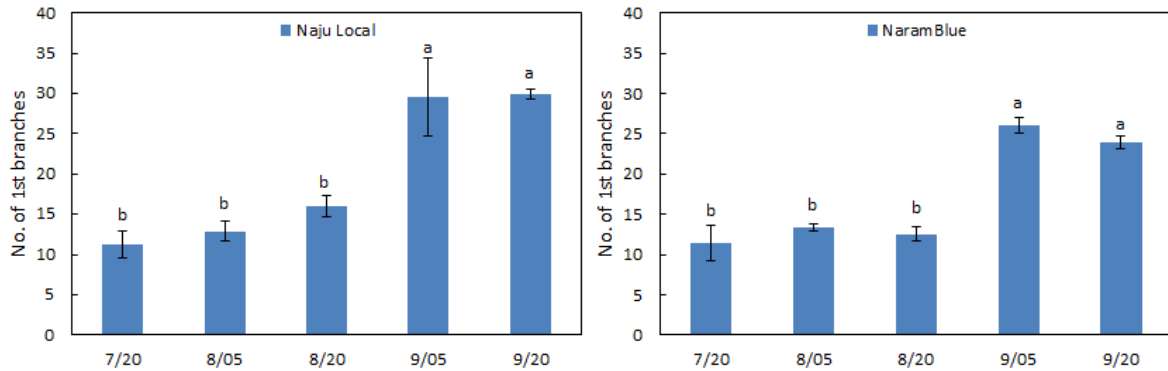


Fig. 7. Changes of number of 1st branches with different harvest times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

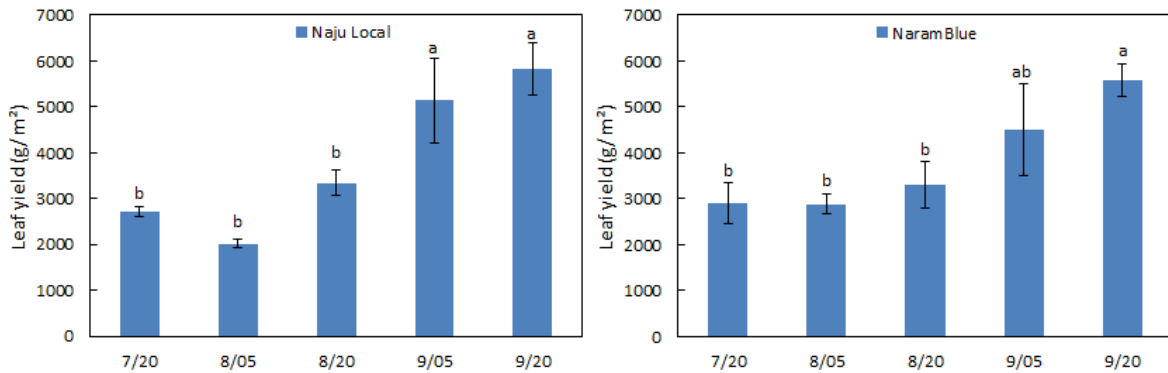


Fig. 8. Changes of leaf yield with different harvest times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

수확시기에 따른 생육특성 및 생엽수량 변화

수확시기에 따른 두 품종, 나주재래종과 나람블루의 생육 특성을 조사한 결과는 Fig. 6과 Fig. 7과 같다. 두 품종 모두 수확시기에 늦어질수록 초장은 계속 증가하는 경향을 보였

다(Fig. 6). 1차분지수의 경우에서도 수확시기에 늦어질수록 많아지는 경향을 두 품종 모두에서 보였다(Fig. 7). 수확 시기 중 8월 20일 까지 보다 9월 5일 이후 처리구에서 크게 증가하는 경향을 보였는데, 쪽의 생장은 개화기 8월 하순경

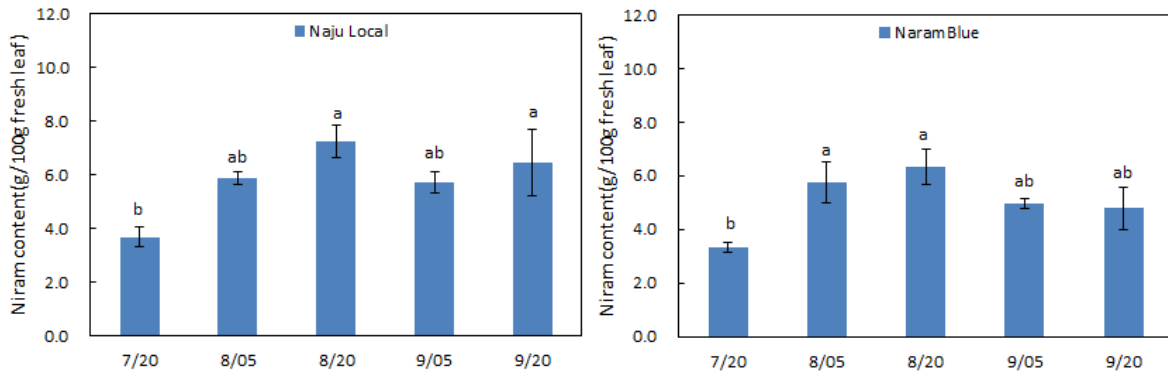


Fig. 9. Changes of Niram content with different harvest times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

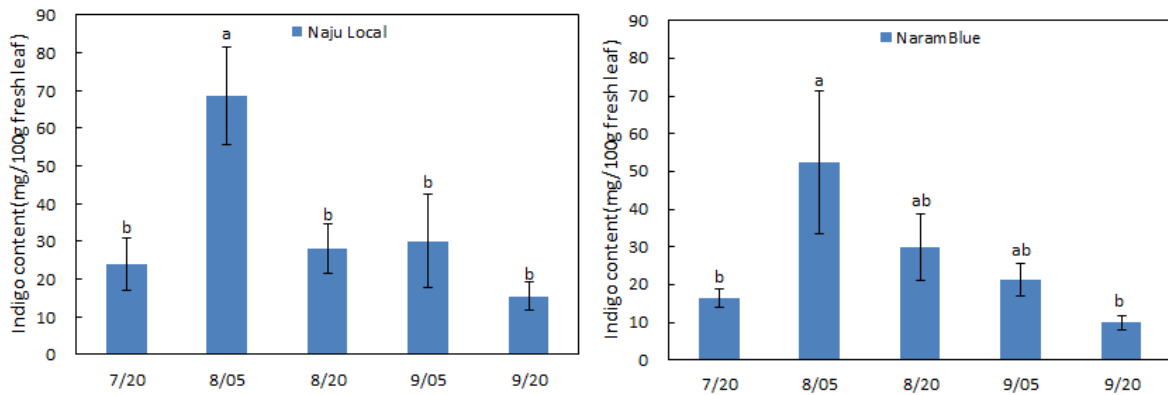


Fig. 10. Changes of indigo content with different harvest times in two cultivars, Naju Local and NaramBlue of *Persicaria tinctoria* H. Gross. Means with the same letter are not significantly different by DMRT ($p=0.05$).

이후에도 계속되는 것으로 생각되었다.

지상부 생엽중을 비교한 결과는 Fig. 8과 같은데, 두 품종 모두 수확시기가 늦을수록 생엽수량이 높아지는 경향을 보였다. 가장 높은 수량을 보였던 9월 20일에 나주재래종은 5.8 kg/m², 나람블루는 5.6 kg/m²의 수량을 보였다. 이와 같이 늦은 수확시기가 수확량은 높지만, 8월 중순이후 수확기는 개화기에 들어가므로 색소함량이 떨어지며 지상부 전체에 대한 색소함유 부위인 잎의 비율이 낮아지는 것을 고려해야 할 것으로 생각된다.

수확시기에 따른 색소함량 변화

두 품종의 수확시기에 따른 니람함량 변화는 Fig. 9와 같다. 두 품종 모두 수확시기에 따른 니람함량 변화는 비슷한 경향을 보였는데, 8월 20일 까지 증가하다가 이후 다소 감소하거나 거의 변화가 없었다. 이는 8월 하순이나 9월 상순에 개화하므로 개화기가 니람함량에 영향을 준 것으로 생각

되었다. 가장 높은 니람함량을 보인 8월 20일에 나주재래종은 생엽 100 g당 7.25 g, 나람블루는 생엽 100 g당 6.35 g의 니람함량을 보였다. 수확시기에 따른 인디고 함량 변화에 대한 결과는 Fig. 10과 같은데, 두 품종 모두 비슷한 경향을 나타냈다. 8월 5일 수확시기에 가장 높은 인디고 함량을 보였으며 이후 비교적 크게 감소하는 경향을 나타냈다. 가장 높은 인디고 함량을 보인 8월 5일에 나주재래종은 생엽 100 g당 68.6 mg의 인디고 함량을 보였고, 나람블루의 경우 생엽 100 g당 52.4 mg을 보였다. 따라서 생엽수량과 색소함량 모두 높이기 위해서는 쪽 개화전인 8월 초순경에 수확하는 것이 가장 좋을 것으로 생각되었다. Angelini et al.(2004)이 유럽에서 재배시험을 수행한 결과, 쪽 생엽수량과 인디고 전구물질 인디칸(indican) 함량은 재배년도, 수확시기, 수집종에 따라 달라지며, 강우량이 충분한 해에 일조시간이 많고 온도가 비교적 높은 7월에 생엽수량과 인디칸 함량이 높았다고 보고하였다. 대청(*Isatis spp.*)의 경우는 광

인용문헌

질에 따라 종자발아나 인디고 함량이 차이가 있으며 종(species)에 따라 반응도 다르다고 보고하였으며(Tozzi *et al.*, 2005), 대청보다 쪽이 수분스트레스에 민감하여 쪽 재배에서는 관개량이 중요하며 잎과 줄기 비율이 1:1 정도 되는 6월 말이나 7월 초가 인디고 수율이 높았다고 보고되었다(Campeol *et al.*, 2006). 이와 같은 결과는 이식시기가 본 실험에서 하였던 시기보다 1 개월 정도 더 빨라 차이가 나타난 것으로 생각되지만 재배지역의 일조량과 생육온도에 따라 다를 것이며 품종에 따라서도 다소 차이가 날 것으로 생각된다.

따라서 국내 남부지방에서 쪽의 생엽수량과 색소함량을 높이기 위해서는 가능한 이른게 파종 및 정식하는 것이 유리하며, 재배방법에 따라 다소 달라지겠지만 단작재배시 8월 초순경에 수확하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 추후 재식밀도, 시비량, 수확횟수 등의 재배방법과 쪽 생육 중 기온이나 강수량 같은 기상조건에 따른 생엽수량 및 색소함량 변화에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

쪽 두 품종, 나주재래종과 나람블루를 사용하여 높은 생엽수량 및 색소함량을 얻기 위한 적절한 이식시기와 수확시기를 알아보려고 수행한 재배시험 결과, 대체적으로 두 품종 모두 비슷한 경향을 나타냈다. 이식시기가 늦을수록 생엽수량은 감소하는 경향을 보였으며, 이식시기 시험구간 다소 차이가 있었지만 나람이나 색소함량은 유의한 차이를 보이지 않았다. 수확시기가 늦어질수록 초장, 분지수, 생엽수량은 증가하는 경향을 보였지만, 나람함량은 8월 20일까지 증가하다가 이후 정체하거나 감소하는 경향을 보였다. 수확시기에 따른 인디고 함량 변화는 8월 5일에 가장 높은 함량을 보였고 이후 감소하는 경향을 보였다. 따라서 쪽 재배에서 높은 생엽수량과 색소함량을 얻기 위해서는 가능한 이른게 이식하는 것이 좋으며 8월 초순경에 수확하는 것이 유리한 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 농림바이오기술산업화지원사업 “인디고/인디루빈 생산작물 산업화 연구사업단(810003-03-1-SB110)”의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 감사를 드립니다.

- Angelini, L. G., S. Tozzi, and N. N. Nasso. 2004. Environmental factors affecting productivity, indican content, and indigo yield in *Polygonum tinctorium* Ait. a subtropical crop grown under temperate conditions. *J. Agric. Food Chem.* 52(25) : 7541-7547.
- Angelini, L. G., S. Tozzi, and N. N. Nasso. 2007. Differences in leaf yield and indigo precursors production in woad (*Isatis tinctoria* L.) and Chinese woad (*Isatis indigotica* Fort.) genotypes. *Field Crops Res.* 101(3) : 285-295.
- Campeol, E., L. G. Angelini, S. Tozzi, and M. Bertolacci. 2006. Seasonal variation of indigo precursors in *Isatis tinctoria* L. and *Polygonum tinctorium* Ait. as affected by water deficit. *Environ. Exp. Botany* 58 : 223-233.
- Chung, I. M., I. H. Kim, and S. W. Nam. 1998. Structural analysis of natural indigo colorants extracted from *Polygonum tinctorium*. *J. Korean Soc. Dyers & Finishers* 10(3) : 20-28.
- Han, S. Y. and S. C. Choi. 2000. A study on the physiological effects and dyeing properties of the extract of fermented indigo (Part II). *J. Korean Soc. of Clothing & Textiles* 24(1) : 96-104.
- Heo, B. G., H. G. Jang, and J. Y. Lee. 2009. Theory and Practice in Growing the *Polygonum tinctorium* (in Korean). Naju Foundation of Natural Dyeing Culture. pp. 79-104.
- Heo, B. G., H. G. Jang, D. Y. Rhyu, and J. H. Kim. 2011. Function and Utilization of Indigo Plants (in Korean). PubPlan, Korea. pp. 12, 83-129.
- Jin, Z, K. H. Kim, K. S. Kim, S. U. Park, and S. U. Kim. 2012. Increased indigoid accumulation by plant defense activators in *Polygonum tinctorium* Lour. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 55(3) : 359-362.
- John, P. and L. G. Angelini. 2009. Indigo-Agricultural Aspects, In : T. Bechtold & R. Mussak (eds.), Chap. 7, Handbook of Natural Colorants, Wiley, UK, pp. 75-104.
- Kim, J. N., H. G. Jang, S. U. Park, and H. W. Ryu. 2006. Effect of polyamines on indigo biosynthesis in hairy root cultures of *Polygonum tinctorium* Lour. *Kor. J. Crop Sci.* 51(S) : 247-250.
- Kim, S, J., B. G. Heo, and K. S. Kim. 2012. Differences of growth characteristics and colorant level in two breeding lines of *Persicaria tinctoria* H. Gross. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 209-214.
- Lin, Y. K., Y. L. Leu, T. H. Huang, Y. H. Wu, P. J. Chung, J. H. S. Pang, and T. L. Hwang. 2009. Anti-inflammatory effects of the extract of Indigo Naturalis in human neutrophils. *J. Ethnopharm.* 125(1) : 51-58.
- Minami, Y., H. Takao, T. Kanafuji, K. Miura, M. Kondo, I. Hara-Nishimura, M. Nishimura, and H. Matsubara. 1997. β -glucosidase in the indigo plants: intracellular localisation and tissue specific expression in leaves. *Plant Cell Physiol.*

- 38(9) : 1069-1074.
- Park, D. N., S. R. Beak, and D. W. Jeon. 2011. A Study on the effect of the changes of dyeing conditions on the dyeability of silk fabrics dyed with natural *Polygoum tinctoria*. J. Fashion Business. 15(2) : 120-130.
- Sales, E., R. Kanhonou, C. Baixauli, A. Giner, D. Cooke, K. Gilbert, I. Arrillaga, J. Segura, and R. Ros. 2006. Sowing date, transplanting, plant density and nitrogen fertilization affect indigo production from *Isatis* species in a Mediterranean region of Spain. Ind. Crop. Prod. 23 : 29-39.
- Seo, H. S. 2008. The experimental study on anti-inflammation and anti-oxidation of Indigo Naturalis and Rehmanniae Radix. J. Korean Oriental Medical Ophthalm. & Otolaryngol. & Dermatol. 21(3) : 104-110.
- Shim, J. Y., Y. J. Chang, and S. U. Kim. 1998. Indigo and indirubin derivatives from indoles in *Polygonum tinctorium* tissue cultures. Biotechnol. Lett. 20(12): 1139-1143.
- Torimoto, N. 1987. An indigo plant as a teaching material. J. Chem. Edu. 64(4) : 332-334.
- Tozzi, S., B. Lercari, and L. G. Angelini. 2005. Light quality influences indigo precursors production and seed germination in *Isatis tinctoria* L. and *Isatis indigotica* Fort. Photochem. & Photobio. 81(4) : 914-919