

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32(3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25(1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26(2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea found in 1981 and 1987, respectively.

Benzobicyclon에 대한 총채 사료용 벼 품종의 약해 반응

양운호^{1*} · 손지영¹ · 김준환¹ · 정한용¹ · 안억근¹ · 김보경¹ · 박태선¹ · 윤영환²

¹국립식량과학원, ²충청남도 농업기술원

Phytotoxicity of Whole Crop Forage Rice to Benzobicyclon

Woonho Yang^{1*}, Jiyoung Shon¹, Junhwan Kim¹, Hanyong Jung¹, Eok-Keun Ahn¹, Bo-Kyeong Kim¹,
Tae-Seon Park¹, and Young-Hwan Yoon²

¹National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 441-857, Korea

²Chungcheongnamdo Agricultural Research & Extension Services, Yesan, 340-861, Korea

ABSTRACT. Benzobicyclon induces phytotoxicity to Tongil type rice, although it is an efficient herbicide in paddy. This study was performed to figure out the benzobicyclon-induced phytotoxicity responses of whole crop forage rice genotypes that have the genetic background similar to Tongil type rice, under wet-seeded and transplanted conditions. Mogwoo demonstrated whitening symptom at all the temperatures in both wet-seeding and transplanting by the application of standard and double rates of benzobicyclon. Nokyang, Mogyang and Suweon560 exhibited no or negligible whitening and their plant heights were not reduced at standard rate of benzobicyclon. But in double rate application in wet-seeding, the three genotypes showed 0-8% of white plants at all temperature treatments and reduction in plant height was comparatively larger at 27°C. In transplanting, the double rate application of benzobicyclon at 24 and 27°C induced 0-32% of whitening plants depending on genotypes while no whitening plants were observed at 18 and 21°C in all genotypes. Reduction in biomass by double rate of benzobicyclon at 24 and 27°C was greater than at 18 and 21°C. It is concluded that Mogwoo is extremely sensitive to benzobicyclon and Nokyang, Mogyang and Suweon560 are tolerant to the standard rate of benzobicyclon.

Key words: Benzobicyclon, Phytotoxicity, Whole crop forage rice

Received on August 22, 2014; Revised on September 14, 2014; Accepted on September 20, 2014

*Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6716, (Fax) +82-31-290-6662; E-mail) whyang@korea.kr

© 2014 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License & #160; (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, & #160; and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

Benzobicyclon은 prenylquinone 생합성 경로의 p-hydroxyphenylpyruvate dehydrogenase (HPPD) 효소를 억제하여 plastoquinone 및 alpha-tocopherol의 생합성을 저해하며, 결과적으로 신엽의 백화현상을 일으켜 식물체를 고사시킨다(Barta and Böger, 1996; Garcia et al., 1999; Lee et al., 1997; Pallett et al., 1997). 우리나라에서 benzobicyclon은 논에 발생하는 설포닐우레아계 저항성 잡초인 물달개비, 올챙이고랭이, 알방동사니, 마디꽃 등 광엽 및 방동사니과 잡초들을 방제하기 위하여 씨레질 직후-이앙 2일 전,

이앙 후 5-7일(초기), 이앙 후 10-12일(초중기), 이앙 후 15일(중기)까지 토양수면 처리제로 등록되었으며, 최근에는 등록된 논 제초제 중 약 39%를 차지할 정도로 광범위하게 사용되고 있다.

Benzobicyclon은 피를 제외한 대부분의 저항성 잡초 방제효과가 탁월하나, 벼 품종에 따라 약해를 일으키는 문제점을 가지고 있다. Benzobicyclon과 같은 HPPD 저해 제초제는 일반형 벼 품종의 경우 약해 발생이 없거나 경미한 반면, 통일형과 특수미 품종에서는 백화 또는 고사되는 약해를 일으키며(Han et al., 2009; Im et al., 2007; Im et al., 2008), 약해 정도도 일반형보다 통일형 품종에서 심한 것으로 보고되었다(Kim et al., 2012; Kwon et al., 2012). 또한

benzobicyclon에 대한 잡초성 벼의 내성도 단립종이 장립종보다 41-54배 높은 것으로 나타났다(Im et al., 2008). 최근 Kwon et al. (2012)은 기능성, 가공용 및 사료용 벼 품종에 대하여는 benzobicyclon, mestrione 및 tefuryltrione 함유 제초제의 사용을 지양해야 한다고 주장하였다. 포장에서 통일형 벼 품종에 benzobicyclon 약해가 발생하면 출수 지연, 수수 감소, 등숙비율 저하로 이어지고, 결과적으로 수량이 7-10% 감소하는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2012).

2014년 현재 총체 사료용 벼는 2품종이 국가품종목록에 등재되어 있고, 3품종이 출원되어 있다. 총체 사료용 벼는 일시에 수확하여 주로 사일리지로 활용되며(Kim et al., 2008), 우리나라에서 여름철 논을 유지하는 동시에 사료작물을 생산하여 수입사료를 대체할 수 있는 장점이 있다(Kim et al., 2006; Sung et al., 2004). 총체 사료용 벼는 총체 수량, 가축에 대한 영양가치, 가축의 기호성 등이 중요하지만, 사료용 작물의 특성상 건물 생산량이 가장 중요한 육종 목표가 된다. 그러므로 총체 사료용 벼 품종은 건물중을 증가시키는 방향으로 육성되어 왔고, 이를 위하여 다수성 인디카 또는 열대 자포니카인 신초형(New Plant Type) 벼를 유전적 배경으로 하고 있다(Lee et al., 2013; Yang et al., 2011; Yang et al., 2013). 그러므로 총체 사료용 벼 품종은 통일형 벼 품종과 유전적 배경이 유사하고, 따라서 HPPD 저해제인 benzobicyclon 사용시 약해가 발생할 것으로 추정해 볼 수 있다. 그러나 Kwon et al. (2012)은 총체 사료용 벼 품종 “녹양”이 다른 통일형 벼 품종들에 비하여 benzobicyclon에 의한 약해가 경미하게 발생하였다고 보고하였으나, 최근 육성된 총체 사료용 벼 품종들에 대한 약해 발생 여부가 보고되지 않아 이에 대한 검토가 필요하다.

본 연구는 국내 논에서 광범위하게 사용되고 있는 benzobicyclon에 대한 총체 사료용 벼 품종들의 약해 반응 차이를 검토하여 효율적인 잡초방제를 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료, benzobicyclon 처리방법 및 처리온도

본 연구는 2014년 수원 소재 국립식량과학원 답작과 인공기상연구동 정밀유리실에서 수행하였다. 총체 사료용 벼 품종은 녹양, 목우, 목양, 수원560을 공시하였으며, 일반형 품종인 일품벼를 대조로 두었다. 시험재료의 유전적 배경은 Table 1과 같다. 총체 사료용 벼의 손쉬운 재배를 위하여 제안된 바와 같은(Kim et al., 2009; Yang et al., 2007) 담수표면산파와 이앙재배 조건에서 시험을 수행하였다. 이앙과 담수표면산파 모두 사각 플라스틱 상자(가로×세로×깊

Table 1. Genetic background of rice varieties tested in this study.

Variety	Cross
Nokyang	Tongil / Tropical japonica
Mogwoo	Tongil / Tongil / Tropical japonica
Mogyang	Japonica / Tongil
Suweon560	Japonica / Tropical japonica
Ilpum	Japonica / Japonica

이 = 47×30×14 cm)를 이용하였으며, 파종 및 이앙 6일 전 상자당 토양을 7 cm 깊이로 채우고 물을 더해 교반하였다. 토양 교반 후 1일에 benzobicyclon 2.5% 함유 제제를 10a당 담수표면산파의 경우 400 ml, 이앙재배의 경우 500 ml를 기준량으로 하여 토양표면 처리하고, 직파 및 이앙까지 담수 상태를 유지하였다. 각 재배조건에서 기온에 따른 약해 반응을 검토하기 위하여 일 평균기온 18, 21, 24, 27°C로 처리하였으며, 일교차는 모든 온도에서 8°C로 유지하였다.

담수표면산파

공시품종의 종자를 30°C에서 48시간 약제소독 후 최아하여 상자당 50립씩 표면 파종하였다. 한 상자당 시험재료 5품종을 구획에 맞추어 파종하였으며, 각각의 온도에서 처리당 3상자(반복)에 파종하여 난괴법에 따라 배치하였다. 1차 시험에서는 benzobicyclon 기준량 처리와 무처리 하였고, 2차 시험에서는 배량 및 무처리하여 약해 반응을 비교하였다. 벼 생육초기 백화묘 발생률과 신장을 비교하기 위하여 파종 후 10일에 출현 개체수에 대한 백화묘 수의 비율과 출현 개체들 중 10개체의 초장을 조사하였다. 파종 후 30일에 생육이 양호한 식물체를 세어 입모율을 구하고, 생육억제 정도를 평가하기 위하여 각 시험구당 10개체의 초장을 측정하였다. 출현 개체수, 초장 및 입모수는 각각의 시험에서 각 온도별로 benzobicyclon 기준량과 무처리, 배량과 무처리를 t-test를 통해 비교하였다. 백화묘율은 benzobicyclon 기준량과 배량의 각 온도 처리에서 DMRT (0.05) 분석을 통해 품종간 차이를 비교하였다.

이앙재배

종자소독은 담수표면산파에 준하였으며, 최아종자를 생묘포트상자에 포트당 1립씩 파종 후 30°C의 육묘기에서 2일간 출아시켰다. 출아된 묘를 평균기온 24°C의 인공기상연구동 정밀유리실로 옮겨 2일간 녹화한 후, 차광막을 제거하고 육묘관리 하였다. 파종 후 15일간 육묘 후, 각 시험구당 생육이 균일한 묘 20개체씩을 손이앙하였다. 시험처

리는 각 온도별로 benzobicyclon 기준량, 배량, 무처리를 두었으며, 처리당 3반복으로 난괴법에 따라 배치하였다. 이양 후 15일에 백화묘율을 조사하고, 생육이 균일한 10 개체를 선택하여 초장과 건물중을 측정하여 비교하였다. 백화묘율은 각각의 benzobicyclon 처리와 온도에서 DMRT (0.05) 분석을 통해 품종간 차이를 비교하였으며, 초장과 건물중은 각 처리온도와 품종에서 benzobicyclon 처리방법간 LSD (0.05) 분석하여 비교하였다.

결 과

담수표면산파

파종 후 10일에 1 cm 이상 신장한 개체수는 품종과 온도에 관계없이 benzobicyclon 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았다(결과제시 생략). 파종 후 10일에 발아하여 신장하는 개체들 중 백화묘는 목우의 경우 기준량과 배량 모두에서 100% 발생하였다(Fig. 1). 녹양, 목양, 수원560과 일품은 기준량 처리에서는 백화묘가 발생하지 않았던 반면, 배량 처리에서는 품종과 처리 온도에 따라 0-8%의 백화묘가 발생하였다. 특히 일품의 경우도 배량 처리의 21°C와 27°C

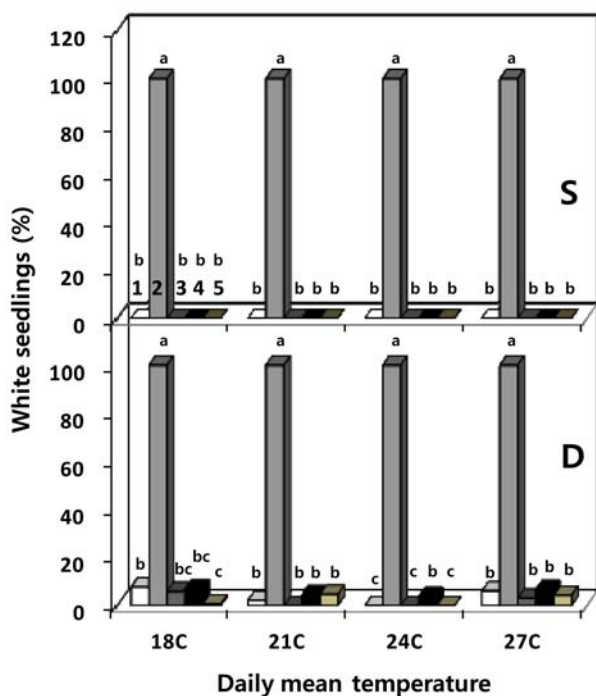


Fig. 1. Percentage of white seedlings at 10 days after wet-seeding of whole crop rice varieties in benzobicyclon-treated and non-treated soil under different daily mean temperature conditions. Same letters in a temperature regime for each panel are not significant according to DMRT (0.05). S: Standard rate applied; D: double rate applied; 1: Nokyang; 2: Mogwoo; 3: Mogyang; 4: Suweon560; 5: Ilpum.

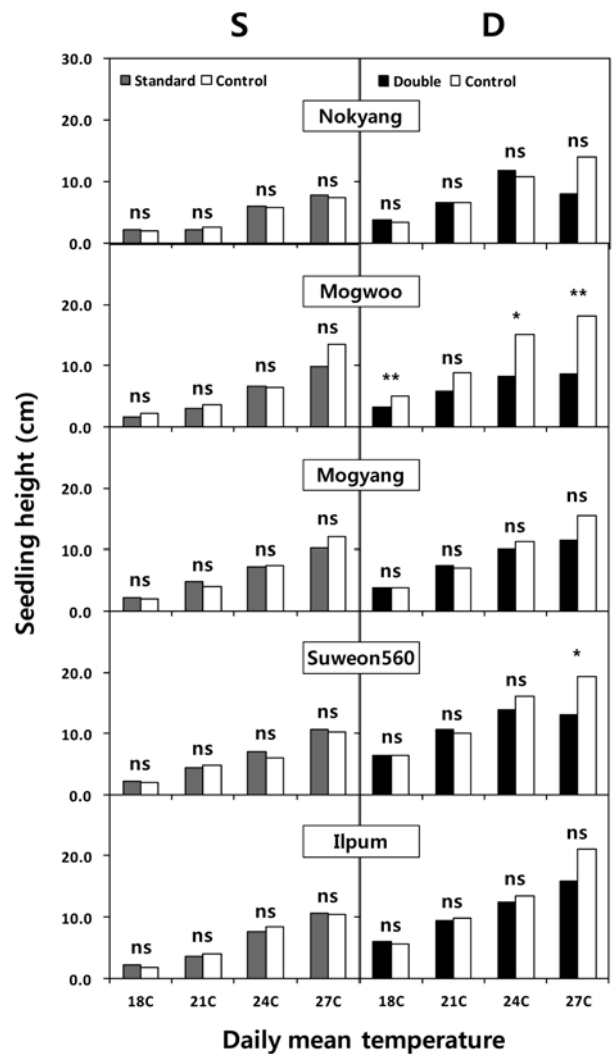


Fig. 2. Seedling height at 10 days after wet-seeding of whole crop rice varieties in benzobicyclon-treated and non-treated soil under different daily mean temperature conditions. S: Standard rate applied; D: double rate applied, ns: not significant; *: significant at 95%; **: significant at 99%.

에서 백화묘가 발생하였고, 총체 사료용 벼 품종들과 유사한 차이를 보이지 않았다.

파종 후 10일에 출현 개체들의 초장은 Fig. 2와 같다. 목우는 기준량에서는 모든 온도에서 benzobicyclon 처리와 무처리간 유의차를 보이지 않았으나, 배량에서는 18, 21, 27°C에서 유의하게 감소하였다. 수원560은 기준량에서는 benzobicyclon 처리에 의하여 초장이 감소하지 않았고, 배량에서는 27°C에서만 초장이 짧아졌다. 녹양, 목양, 일품은 benzobicyclon 기준량과 배량 처리의 모든 온도에서 초장이 유의하게 감소하지 않았다. 그러나 배량 처리의 27°C에서는 모든 품종의 초장이 짧아지는 경향을 보였다.

파종 후 30일에 조사한 입모율은 목우의 경우 기준량과

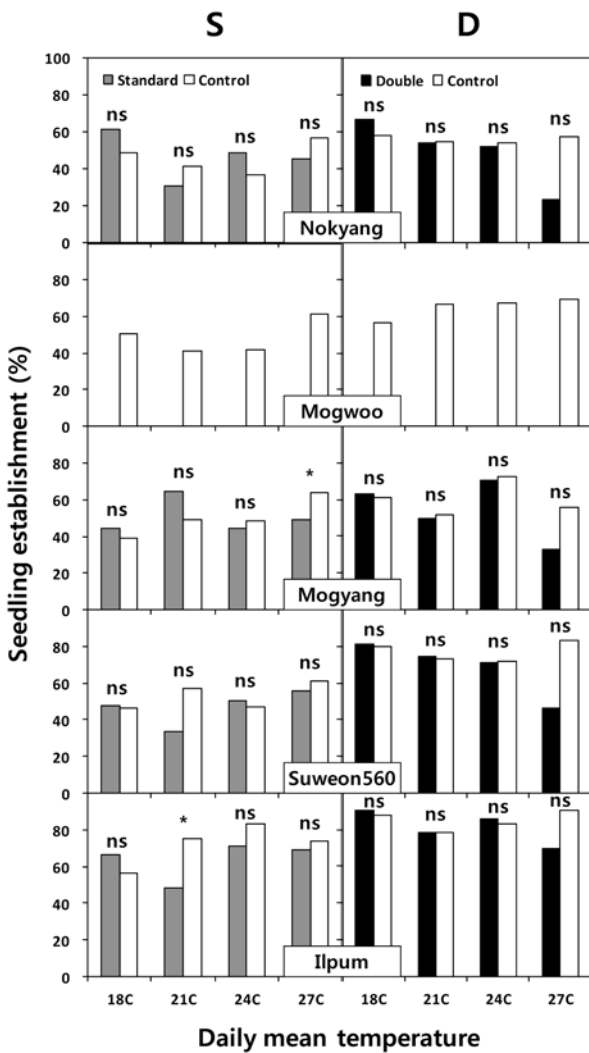


Fig. 3. Percentage of seedling establishment at 30 days after wet-seeding of whole crop rice varieties in benzobicyclon-treated and non-treated soil under different daily mean temperature conditions. S: Standard rate applied; D: double rate applied; ns: not significant; *: significant at 95%.

배량의 모든 온도 처리에서 0%를 나타냈다(Fig. 3). 그 외의 품종에서는 목양은 27°C에서, 일품은 21°C에서 무처리에 비해 기준량 처리에서 입모율이 유의적으로 감소하였으나, 배량에서는 이들 처리를 포함하여 모두 유의차가 인정되지 않았다. 그러나 모든 품종의 입모율이 배량 27°C 처리에서는 감소하는 경향을 보였다.

이앙재배

이앙 후 15일에 목우의 경우 기준량과 배량 처리의 모든 온도에서 백화 현상이 100% 발생하였다(Fig. 4). 녹양, 목양, 수원560과 일품은 기준량 처리의 모든 온도와 배량 처리의 18°C와 21°C에서는 백화 현상이 발생하지 않거나 매

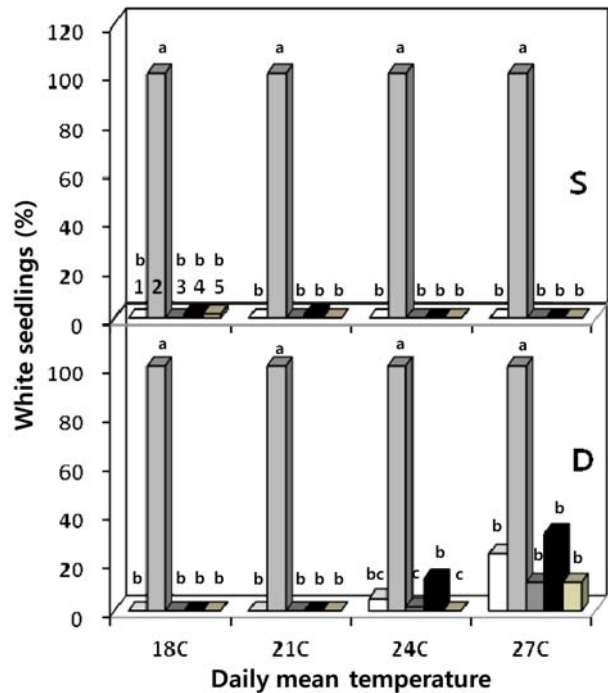


Fig. 4. Percentage of white seedlings at 15 days after transplanting of whole crop rice varieties in benzobicyclon-treated and non-treated soil under different daily mean temperature conditions. Same letters in a temperature regime for each panel are not significant according to DMRT (0.05). S: Standard rate applied; D: double rate applied; 1: Nokyang; 2: Mogwoo; 3: Mogyang; 4: Suweon560; 5: Ilpum.

우 경미하였다. 그러나 수원560은 배량 처리의 24°C와 27°C에서 13%와 32%, 녹양은 같은 온도에서 5%와 23%의 백화 모율을 나타내어 일품에 비해 백화 개체 비율이 높은 경향을 보였다.

이앙 후 15일의 초장과 건물중은 목우의 경우 모든 온도에서 benzobicyclon 처리에 의하여 유의적으로 감소하였는데, 감소 정도는 18°C와 21°C보다 24°C와 27°C에서 더 큰 경향이였다(Fig. 5). 녹양과 목양은 benzobicyclon 처리에 의하여 초장이 24°C에서만 유의하게 감소하였으나 그 차이는 크지 않았으며, 건물중은 모든 온도에서 유의차를 보이지 않았다. 수원560의 경우 benzobicyclon 처리와 무처리간 초장은 유의차가 없었고, 건물중은 24°C 배량 처리에서만 유의하게 감소하였다. 일반형 품종인 일품은 처리간 초장의 차이는 없었으나, 건물중은 24°C와 27°C에서 benzobicyclon 처리에 의하여 감소하는 경향을 보였다.

고찰

담수직파에서 benzobicyclon 기준량 처리시 출현 개체수

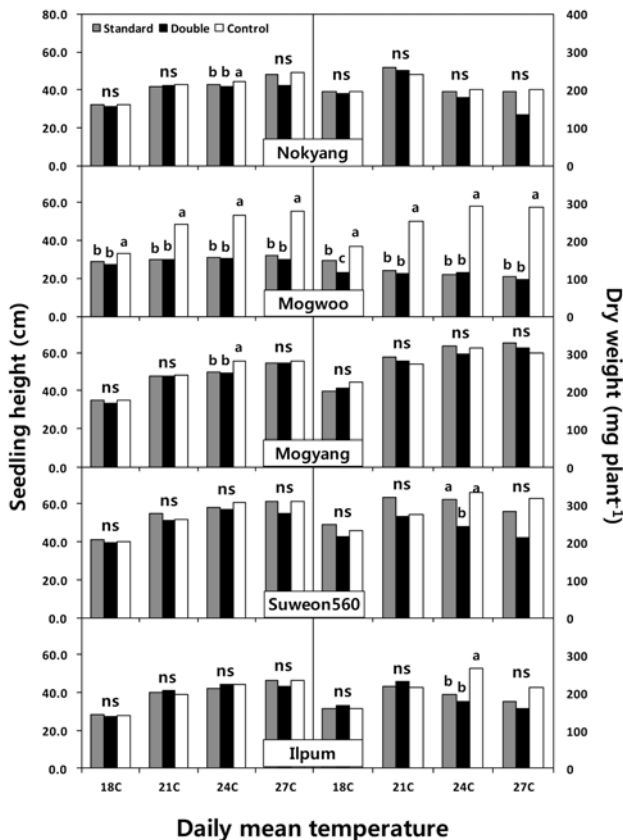


Fig. 5. Seedling height (left panels) and dry weight (right panels) at 15 days after transplanting of whole crop rice varieties in benzobicyclon-treated and non-treated soil under different daily mean temperature conditions. Same letters in a temperature regime for each panel are not significant according to LSD (0.05). ns; not significant.

는 모든 품종과 온도에서 통계적으로 유의하게 감소하지 않았는데, 이러한 결과는 담수표면산과의 발아 및 초기신장 변이가 큰 특징에 기인된 것으로 사료된다. Benzobicyclon 기준량 처리에서는 모든 품종과 온도에서 초장이 유의하게 단축되지 않은 반면, 배량 처리에서는 목우의 초장이 모든 온도에서 감소하였고 27°C에서는 모든 품종에서 감소하였다(Fig. 2). 이와 같은 양상은 파종 후 30일의 초장에서도 비슷하였다(결과제시 생략). 이러한 결과를 보면, benzobicyclon은 기준량 이하의 농도에서는 벼의 발아와 발아 직후의 신장에 영향을 미치지 않지만, 농도가 높아지면 민감한 특정 품종에 영향을 크게 미치며 고온 조건이 되면 생태형에 관계없이 벼의 발아와 초기 신장을 억제하는 것으로 생각된다.

Benzobicyclon 약해의 특징적 증상은 신엽의 백화 현상이다(Barta and Roger, 1996; Garcia et al., 1999; Lee et al., 1997; Pallet et al., 1997). 목우는 모든 재배양식, 처리농도,

처리온도에서 모든 개체가 백화 현상을 나타내었다(Fig. 1, 4). 더욱이 담수표면산과에서는 백화 증상이 발아 직후부터 식물체 전체에서 나타나고 엽록소가 전혀 생성되지 못하는 증상을 보였다. 결과적으로 목우는 benzobicyclon을 처리하면 백화 현상 발생으로 인하여 담수표면산과에서 전혀 입모되지 못하였고(Fig. 1, 3), 이앙재배에서는 백화 현상과 함께 초장과 건물중이 급격하게 감소하므로(Fig. 4, 5), benzobicyclon의 사용을 엄격하게 제한해야 할 것으로 판단된다. 목우는 통일형과 열대 자포니카를 양친으로 하여 육성되었는데, 목우와 유사한 유전적 배경을 갖는 녹양에서는 benzobicyclon 기준량 처리에서 백화 현상이 나타나지 않았다(Table 1, Fig. 1, 4). Kim et al. (2012)은 벼의 약해 발생 차이가 수수에서와 같이 제초제 분해능력에 따른 차이일 것으로 추정하였다. 본 시험의 결과로 보면, benzobicyclon에 의한 백화 현상은 모든 통일형이나 다수성 벼 품종에서 나타나는 것이 아니며, 개개의 품종별로 HPPD의 저해 정도나 제초제 분해 능력의 유무에 따라 결정되는 것으로 추정된다. 본 연구에서 총체 사료용 품종 녹양은 benzobicyclon 기준량 처리에서 백화 현상이 발생하지 않아 Kwon et al. (2012)의 결과와 차이를 보였는데, 이에 대한 정확한 원인은 알 수 없으나 제초제 처리 방법이나 재배방법에 따른 차이일 것으로 생각된다.

목우를 제외한 녹양, 목양, 수원560은 담수표면산과와 이앙재배 모두 benzobicyclon 기준량 처리에서는 백화 현상이 발생하지 않거나 경미하였고(Fig. 1, 4), 초장과 입모율 및 건물중의 감소도 없거나 정도가 적었을 뿐 아니라, 감소한 경우에도 일반형 품종인 일품의 감소 정도와 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2, 5). 그러나 배량 처리에서는 담수표면산과의 경우 품종에 따라 0-8%, 이앙재배의 경우 0-32%의 묘가 백화 현상을 보였다(Fig. 1, 4). 담수표면산과의 경우 처리온도에 따라서 일정한 경향을 보이지는 않았는데, 21°C와 27°C에서는 일반형 품종인 일품에서도 백화 현상이 나타났고(Fig. 1), 뚜렷하게 백화묘 발생이 많은 품종은 없었다. 이앙재배의 배량 처리에서는 18°C와 21°C에서는 백화묘가 발생하지 않았으나, 상대적으로 온도가 높았던 24°C와 27°C에서는 수원560과 녹양에서 백화묘 비율이 일품보다 높아 주의가 필요한 것으로 생각된다.

이앙재배에서는 무처리에 비하여 배량 처리에서 초장의 감소는 경미하였던 반면, 건물중은 품종에 따라 24°C와 27°C에서 감소폭이 커지는 결과를 보였다(Fig. 5). 그러나 건물중의 감소는 일반형 품종인 일품에서도 관찰되어, 이러한 현상이 총체 사료용 벼 품종에만 국한된 것은 아닌 것으로 나타났다. 더욱이 우리나라에서 평균기온 27°C는 벼 단작의 파종기나 이앙기에는 나타나지 않으며, 남부지

역 이모작의 벼 만기재배시 생육초기에 출현하는 온도 조건이다.

이상의 결과를 종합해 보면, 묵우는 어떤 조건에서도 benzobicyclon을 사용하지 않아야 하며, 녹양, 목양, 수원 560은 기준량을 준수하면, 벼 단작 기계이앙과 담수직파에서 파종 및 이앙 전 제초제로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

담수표면산파와 이앙재배 조건에서 benzobicyclon에 대한 총체 사료용 벼 4품종 및 계통의 약해 반응 차이를 검토한 결과는 다음과 같다. 묵우는 모든 재배양식, 처리온도, benzobicyclon 처리량에서 100% 백화 증상을 보였다. 녹양, 목양, 수원560은 benzobicyclon 기준량 처리에서는 백화 증상이 나타나지 않거나 매우 경미하였다. 그러나 benzobicyclon 배량 처리에서 이들 3품종 및 계통은 담수표면산파의 경우 백화 현상이 0-8% 발생하였고, 27°C의 고온 처리에서는 초장의 단축 정도가 컸다. 이앙재배의 경우 이들 3품종 및 계통은 평균기온 18°C와 21°C에서 백화 증상을 보이지 않았던 반면, 24°C와 27°C에서는 품종에 따라 2-32%의 백화 증상을 나타내었고 건물중도 감소하는 경향을 보였다. Benzobicyclon 배량의 고온 처리에서 이와 같은 약해 증상은 일반형 품종인 일품에서도 나타났다. 결과적으로, 묵우는 benzobicyclon에 대한 약해가 매우 심하였으며, 녹양, 목양, 수원560은 benzobicyclon 기준량 처리에서는 약해를 보이지 않았다.

주요어: Benzobicyclon, 약해, 사료벼전체작물

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project title: Development of low-cost and stable cultivation technologies for whole crop silage rice, Project No. PJ0008679042014), National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Barta, I.C. and Böger, P. 1996. Purification and characterization of 4-hydroxyphenylpyruvate dehydrogenase from maize. *Pestic. Sci.* 48(2):109-116.
- Garcia, I., Rodgers, M., Pepin, R., Hsich, T.F. and Matringe, M. 1999. Characterization and subcellular compartmentation of recombinant 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase from *Arabidopsis* in transgenic tobacco. *Plant Physiol.* 119(4):1507-1516.
- Han, S.S., Yoo, K.Y., Park, M.S. and Kang, D.W. 2009. Reactivity of herbicide benzobicyclon in rice and weedy rice. *Korean J. Weed Sci.* 29(2):105. (In Korean)
- Im, I.B., Kim, S. and Ahn, S.H. 2007. Damage response of benzobicyclon for rice varieties. *Korean J. Weed Sci.* 27(2):46. (In Korean)
- Im, I.B., Kim, S., Ahn, S.H., An, X.H. and Cho, S.H. 2008. Control characteristics of weed (red) rice (*Oryza sativa* L.) by benzobicyclon application. *Korean J. Weed Sci.* 28(2):181-188. (In Korean)
- Kim, J.G., Chung, E.S., Lee, J.K., Lim, Y.C., Yoon, S.H., et al. 2009. Comparison of yield and quality of direct-seeded whole crop rice. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 29(1):25-30. (In Korean)
- Kim, J.G., Chung, E.S., Seo, S., Kim, M.J., Lee, J.K., et al. 2008. Effect of growth stage and variety on the quality of whole crop rice silage. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 28(1):29-34. (In Korean)
- Kim, J.G., Kim, W.H. and Seo, S. 2006. Production and utilization technology of forage crops and whole crop rice in paddy field. *Proc. Korean Soc. Crop Sci. Conference 43(S-1):59-85.* (In Korean)
- Kim, S-Y., Oh, S-H., Lee, J-Y., Yeo, U-S., Lee, J-H., et al. 2012. Differential sensitivity of rice cultivars to HPPD-inhibiting herbicides and their influences on rice yield. *Korean J. Crop Sci.* 57(2):160-165. (In Korean)
- Kwon, O.D., Shin, S.H., An, K.N., Lee, Y., Min, H.K., et al. 2012. Response of phytotoxicity on rice varieties to HPPD-inhibiting herbicides in paddy rice fields. *Korean J. Weed Sci.* 32(3):240-255. (In Korean)
- Lee, D.L., Prisbylla, M.P., Cromatie, T.H., Dagarin, D.P., Howard, S.W., et al. 1997. The discovery and structural requirements of inhibitors of *p*-hydroxyphenylpyruvate dehydrogenase. *Weed Sci.* 45:601-609.
- Lee, S-B., Yang, C-I., Lee, J-H., Kim, M-K., Shin, Y-S., et al. 2013. A late-maturing and whole crop silage rice cultivar ‘Mogwoo’. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 33(2):81-86. (In Korean)
- Pallett, K.E., Little, J.P., Veerasesaran, P. and Viviani, F. 1997. Inhibition of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase: the mode of action of the herbicide RPA 201772 (isoxaflutole). *Pestic. Sci.* 50(1):83-84.
- Sung, J.I., Hong, S.M. and Kim, B.W. 2004. Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 24(1):53-60. (In Korean)
- Yang, C-I., Kim, H-Y., Lee, J-H., Choi, Y-H., Lee, G-S., et al. 2011. A

- new high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Nokyang'. Korean J. Breed. Sci. 43(6):519-523. (In Korean)
- Yang, C-I., Lee, S-B., Won, Y-J., Ahn, E-K., Kim, M-K., et al. 2013. A high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Mogyang'. Korean J. Breed. Sci. 45(4):405-409. (In Korean)
- Yang, W., Choi, K-J., Kwak, K-S., Park, T-S., Oh, M-H., et al. 2007. Characterization of biomass production and seedling establishment of direct-seeded Nogyangbyeo, a whole crop rice variety for animal feed. Korean J. Crop Sci. 52(3):249-258.