

잡초성벼 경종적 방제 후 남부지역 벼 무논점파재배 파종적기

황운하¹ · 정재혁¹ · 이현석¹ · 양서영¹ · 이충근¹ · 조승현² · 민현경³ · 김상국⁴ · 한은희⁵ · 최경진^{6,†}

Optimum Seeding Date of Wet Hill Seeding on Puddled Soil after Weedy Rice Control in Southern Plain Area of South Korea

Woon-Ha Hwang¹, Jae-Hyeok Jeong¹, Hyen-Seok Lee¹, Seo-Yeong Yang¹, Chung-Keun Lee¹, Seung-Hyun Cho², Hyun-Kyung Min³, Sang-Kuk Kim⁴, Eun-Hui Han⁵, and Kyung-Jin Choi^{6,†}

ABSTRACT Wet hill seeding (WHS) is one of the more famous labor and money saving methods technology used for rice cultivation. In WHS, rice standing percentage and weedy rice occurrence are the most important factors considered to secure a rice yield. We investigated the optimum seeding date of WHS in the Southern Plain area of South Korea. Weedy rice needed two weeks at 15°C to show over 80% emergence. Germinated rice seed grown at 20°C needed over for 10 days to achieve a shoot length over 3 cm. In field cultivation, the mean temperature for ten days after seeding showed a highly positive correlation with rice standing rate, spikelet number per square meter and yield index that favorably compared to machine transplanting. With these data, we suggest that the optimum seeding date of WHS that can secure over 98% of yield index of machine transplanting in Southern part of Korea is May. 21~Jun. 5 in Honam and May. 16~Jun. 5 in Yeongnam area.

Keywords : optimum seeding date, temperature, weedy rice, wet hill seeding

국내 쌀 수요량 감소 및 수입량 증가에 따라 국내 쌀 산업은 어려움을 겪고 있다. 국내 벼 재배의 경우 노력비가 직접 생산비 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있어 쌀 산업 경쟁력향상을 위해 생산비 절감 벼 재배기술 개발이 필요한 실정이다. 벼 직파재배는 대표적인 생산비 및 노력절감 재배기술로 이앙재배에 비해 파종 및 육묘단계의 노력시간은 60~70%가 절감되고 10a당 생산비는 11.3~14.8% 절감되는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 1999). 벼 직파재배 기술은 파종 전 물관리 방법에 따라 건답직파기술, 담수직파재배기술, 무논점파기술 등이 차례로 개발 보급되어 왔다(NICS, 2015). 이중 무논점파기술은 재배안정성 및 수량성이 가장 우수한 것으로 알려져 있어 농가에서 가장 선호하는 기술이다(Shon *et al.*, 2012).

직파재배 시 문제점은 출아 및 입모불량, 도복 및 잡초발생 등으로 알려져 있으며, 직파재배의 안정성을 높이기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 직파재배 연구의 초기에는 벼의 생육 및 수량증진을 위해 주로 직파재배 시 법씨의 발아, 도복특성에 관한 연구가 이루어졌으며(Park *et al.*, 1986; Park *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 1993, Kim *et al.*, 1995; Shon *et al.*, 2008; Shon *et al.*, 2011), 최근 잡초 및 잡초성벼 방제와 관련된 연구도 활발히 수행되고 있다(Shon *et al.*, 2013; Hwang *et al.*, 2017). 잡초 및 잡초성벼는 벼의 재배안정성 및 생산성을 저해하며, 기계이앙재배 포장에 비해 직파재배 포장에서 발생량이 많다고 알려져 있다(Im *et al.*, 2015). 특히 잡초성벼의 경우 저온 발아성 및 불량환경에 대한 저항성이 일반 재배벼에 비해 높으며, 벼와 유전조성이 동일

¹농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사(Junior Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

²전라북도농업기술원 농업연구사 (Scientist Jeollabuk-do Agricultural Reseach&Extension Services, Iksan 54591, Korea)

³전라남도농업기술원 농업연구사 (Scientist, Jeollanam-do Agricultural Reseach&Extension Services, Naju 58213, Korea)

⁴경상북도농업기술원 농업연구사 (Scientist, Gyeongsangbuk-do Agricultural Reseach&Extension Services, Dague 41404, Korea)

⁵경상남도농업기술원 농업연구사 (Scientist, Gyeongsangnam-do Agricultural Reseach&Extension Services, Jinju 52733, Korea)

⁶농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관 (Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

†Corresponding author: Kyung-Jin Choi; (Phone) +82-63-238-5262; (E-mail) choikj@rda.go.kr

<Received 30 August, 2018; Revised 9 November, 2018; Accepted 10 December, 2018>

하여 벼와 동시에 발생 시 제초제를 통한 선별적 방제가 불가능하다. 이 때문에 잡초성벼의 가장 효율적인 방제법은 잡초성벼의 출현을 최대한 유도한 뒤 경종적 또는 화학적 방법으로 방제하고 이후에 법씨를 파종하는 것이다. 하지만 농가에서 직파재배 시 파종적기를 맞추기 어려워 대체로 파종적기 보다 빨리 파종하여 입모 확보 및 잡초성벼 방제의 어려움을 겪고 있다(Yang *et al.*, 2015). 지금까지 진행된 직파재배 시 파종적기 규명 시험은 벼 품질 및 수량에 초점을 맞추고 있어 잡초성벼 방제 효율증진과 관련된 파종적기에 대한 연구는 부족한 실정이다(Choi *et al.*, 2012, NICS, 2014). 벼 직파재배 면적의 확대를 위해서는 재배 안정성 및 수량성 증진을 위해 잡초성벼의 출현을 최대화하면서 벼를 안정적으로 재배할 수 있는 법씨 파종적기를 규명하는 것이 필요하다.

이에 본 연구는 남부지방을 중심으로 잡초성벼 출현확보를 위한 온도 및 지역별 방제시기, 입모율 향상을 위한 적정 온도 및 파종시기별 벼 수량변화를 분석하여 잡초성벼를 효율적으로 방제하면서 수량을 확보 할 수 있는 지역별 무논점파재배 파종적기를 규명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

온도에 따른 잡초성벼 출현변화 분석

생육온도에 따른 잡초성벼의 출현정도를 분석하기 위해 잡초성벼 유전자원 8점(김포앵미, 여수앵미, PBR, WD3, 경주앵미, 안산앵미, 김제앵미, 익산앵미)를 시험재료로 사용하였으며, 일반 재배벼로는 동진1호 및 새누리를 사용하였다. 크기가 6×6 cm로 제작된 플라스틱 칸막이를 사각 트레이에 넣고 흙을 3 cm로 깎 뒤 각 시험 종자 50립씩을 3반복으로 넣고 상토를 종자 위 1 cm가 되게 복토하였다. 물을 충분히 공급한 뒤 온도 및 일장이 설정된 생장상에 넣고 출현변화를 분석하였다. 생장상의 평균온도는 13, 14, 15°C로 설정하였으며 일평균 기온차는 ±5°C로, 일장은 13시간으로 설정하였다.

파종 후 온도조건별 벼의 입모 상태

남평벼를 시험재료로 사용하여 32°C에서 소독 및 최아를 시킨 뒤 최아가 균일하게 나타난 종자를 선별하였다. 패트리디쉬에 여과지를 깔고 선별된 종자를 패트리디쉬 당 20립씩 넣고 증류수를 5 ml 추가하여 온도가 14, 16, 18, 20°C로 설정된 항온기에 두고 처리일수에 따른 법씨 생육정도를 조사하였다. 항온기는 조명을 켜 명 상태로 유지하였다.

지역별 벼 무논점파재배 파종기에 따른 수량분석

지역별 벼 무논점파재배 시, 법씨 파종기에 따른 수량을 분석하기 위해 전북농업기술원(익산), 전남농업기술원(나주), 경북농업기술원(대구), 경남농업기술원(진주) 답작 포장에서 2015년부터 2017년까지 3년간 무논점파재배를 수행하였다. 파종시기는 5월 10, 5월 20, 5월 30로 설정하였으며 대조구로 익산 및 대구지역에서는 5월 30일에 진주 및 나주지역에서는 6월 5일에 조간 및 주간거리를 30×14 cm로 하여 이앙재배를 수행하였다. 지역별로 지역 적응 품종 중 한 품종을 선정하여 시험재료로 사용하였으며 2 mm 정도 최아된 종자를 10a 당 6 kg 파종하였다. 파종 후 20일에 입모가 균일한 지역을 선정하여 Qadrate (0.25 m²)를 이용하여 입모수를 조사하였으며 잡초발생 조사는 제초제 처리 후 40일째 Qadrate (0.25 m²)를 이용하여 조사하였다. 벼의 생육특성, 출수기 및 수량구성요소 등은 농촌진흥청 농사 시험연구 조사기준(2012)에 준하여 조사하였고, 출수 후 적산온도가 1,100°C 내외가 되는 날에 수확하여 조곡의 수분함량이 15~16%가 되도록 한 다음 수량 및 품질 등을 조사하였다. 쌀의 외관 품위는 Cevitec-1625 (Foss, Sweden), 아밀로스 및 단백질 함량은 Infratec-1241 (Foss, Sweden), 취반식미는 Satake (MA-1, Japan)을 이용하여 측정하였다. 동일 처리구내에서 입모수, 생육 및 수량조사구간은 각각 임의로 4반복으로 조사하였다.

통계처리

통계처리는 SAS 9.4을 사용하였으며 Duncan's multiple range test (DMRT)로 유의수준 5% 수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

생육온도에 따른 잡초성벼 출현온도 분석 및 잡초성벼 방제 후 적합 파종시기 설정

생육온도를 달리하여 잡초성벼 유전자원 8점 및 재배벼 2점을 이용하여 각 3반복으로 출현변화를 조사 후 잡초성벼 및 재배벼로 분류하여 출현율 평균을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 생육온도가 13°C로 낮을 시 파종 후 7일에는 잡초성벼 및 재배벼에서 출현이 나타나지 않았으며, 파종 후 14일 및 21일 시 출현율은 잡초성벼 62 및 69%, 일반벼 10 및 18%을 보여 잡초성벼의 출현율이 일반 재배벼에 비해 약 3.8~6배 높게 나타났다. 생육온도가 14°C 일 시 잡초성벼의 경우 파종 후 7일부터 출현율이 46%로 나타나 일반 재배벼에 비해 7.6배 높은 출현율을 보였으며 파종 후 21일에 80% 이상의 출현율을 나타내었다. 생육온도가 15°C 일

Table 1. Emergence percentage(%) of weedy rice and cultivation rice according to different temperature condition.

Mean temperature	Material	Emergency percentage at days after seeding (%)		
		7days	14days	21days
13°C	Cultivation rice	0±0.3e	10±1.2d	18±2.5c
	Weedy rice	0±0.2e	62±3.2b	69±3.5a
14°C	Cultivation rice	6±1.1e	30±2.5d	38±2.2cd
	Weedy rice	46±2.5c	68±3.4b	80±5.6a
15°C	Cultivation rice	11±1.5d	40±3.7c	46±3.5bc
	Weedy rice	55±3.5b	82±3.8a	88±4.7a

Emergence percentage (%) was checked 7, 14, 21 days after sowing. Daily temperature range was set as 10°C. Buried soil depth was 1cm and eight kinds of weedy rice germplasm were used as materials. Same letters are not significantly different at p<0.05(Duncan's multiple test)

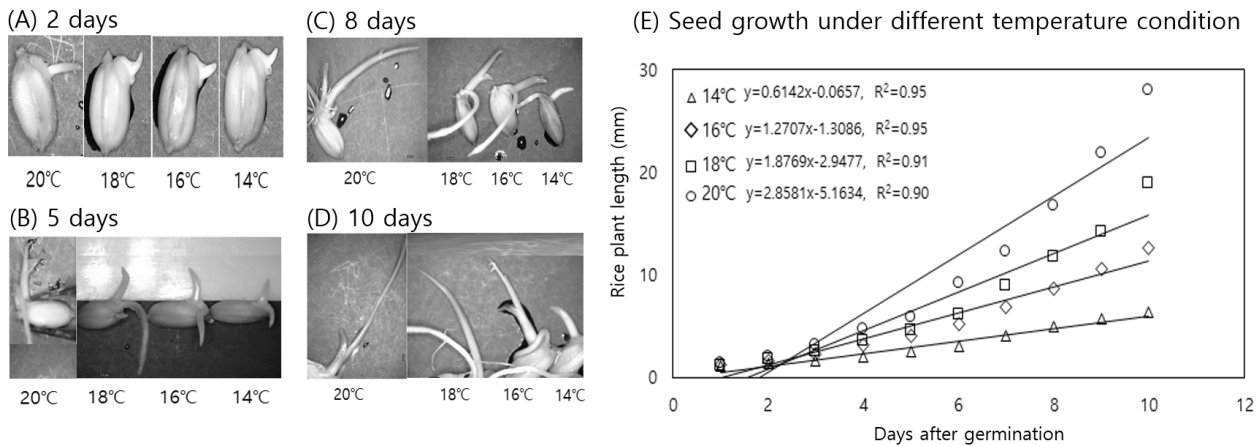


Fig. 1. Growth of rice seed after germination under different temperature conditions. (A) 2days, (B) 5days, (C) 8days and (D)10days after germination. (E) Change of rice plant length according to different temperature condition. Seed germination was conducted at 32°C then selected evenly germinated seed. In each temperature condition, 20 germinated seeds were cultivated. Rice plant length was check every days after cultivation with 20 replication in each temperature condition.

시, 파종 후 14일 부터 출현율이 80% 이상으로 나타나 일반 재배벼에 비해 출현율이 2배 높은 것으로 나타났다. 위 결과, 잡초성벼의 출현율이 80% 이상이 되기 위해서는 파종 후 평균온도가 14°C 및 15°C일 시 각 21일 및 14일이 필요한 것으로 판단된다.

발아 후 온도에 따른 벼씨 생육변화 분석

벼씨 발아 후 온도에 따른 생육변화를 분석한 결과 (Fig. 1), 생육온도에 따라 큰 차이를 보였다. 생육온도가 14°C 시, 발아 후 10일이 경과하여도 싹의 길이가 6.4 mm로 1 cm 미만으로 나타났으며, 생육온도가 16°C 시 12.6 mm로 나타났다. 생육온도가 18°C 높아지면서 발아 후 8일째 10 mm이상이 되며 10일째에 18.9 mm로 성장하였다. 생육온도 20°C에서 발아 6일 후 9.21 mm, 10일 후 28 mm로 성

장하였다. 온도별 생육일수에 따른 성장속도를 분석한 결과, 생육온도가 14°C에서 16°C로 높아지면 생육일당 성장 길이가 2배로 증가하며 16°C에서 18°C, 18°C에서 20°C로 증가하면 성장 길이가 각 1.47 및 1.52배 증가하는 것으로 나타났다. 벼 직파재배는 본답에 파종하여 입모하기까지 외부환경에 노출되기 때문에 이앙재배에 비해 안정된 입모 확보가 어렵다. 이 때문에 직파재배 시 초기 입모확보가 생산량 확보에 가장 중요한 요인 중 하나이다. 직파재배의 파종가능 시기는 일평균 기온이 13°C이며, 15°C 이상에 도달하는 시기가 파종적기라고 알려져 있다(Park et al., 1994). 그러나 초기 입모확보가 잘 되기 위해서는 짧은 기간 안에 발아된 벼씨가 빠르게 성장하는 것이 중요한데, 위 결과로 볼 때 파종 후 10일간 평균기온이 최소 18°C 이상은 되어야 초기 성장속도가 빨라 벼씨 파종 후 조기 활착과 입모안

Table 2. Rice growth characters in wet hill direct seeding according to cultivation area and seeding date.

Area (Cultivar)	Cultivation method	Date of WHS & TP(m.dd)	MT10 (°C)	SSR (%)	PN (m ²)	HD (m.dd)
Iksan (Sukwang)	WHS	5.10	16.8	59.7c	297b	8.15c
		5.20	19.0	66.3b	312ab	8.18b
	TP	5.30	20.6	80.7a	348a	8.22a
		5.30	-	-	324ab	8.11d
Naju (Hyunpum)	WHS	5.10	17.2	61.1b	318b	8.19c
		5.20	19.5	78.1a	375a	8.22b
	TP	5.30	20.8	75.7a	378a	8.24a
		6.05	-	-	368a	8.22b
Daegu (Samkwang)	WHS	5.10	19.1	62.4a	350b	8.14c
		5.20	21.8	67.0a	325c	8.17b
	TP	5.30	22.8	66.0a	336c	8.21a
		5.30	-	-	392a	8.12c
Jinju (Younghojinmi)	WHS	5.10	17.2	79.1b	399b	8.20c
		5.20	19.3	83.7a	425a	8.23b
	TP	5.30	20.6	85.8a	426a	8.27a
		6.05	-	-	386b	8.24b

TP: Transplanting, WHS: wet hill seeding, SSR: seedling stand rate, HD: heading date, PN: panicle number, MT10: mean temperature for 10 days after seeding

정확이 가능할 것으로 여겨지며 온도가 높을수록 더욱 유리할 것으로 판단된다.

남부지역 무논점파 파종시기에 따른 생육 및 수량변화 분석

남부지방에 위치한 4개의 도농업기술원(전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도)에서 3년간('15~'17) 공동연구로 수행된 벼 무논점파 파종시기에 따른 생육 및 수량을 분석하였다(Table 2). 모든 지역에서 5월 10, 5월 20, 5월 30일에 벼씨를 파종하였으며, 대조구로는 익산 및 대구 지역에서는 5월 30일, 나주 및 진주지역에서는 6월 5일에 기계이앙을 실시하였다. 파종 후 10일간 평균기온을 분석한 결과 5월 10일 파종 시 대구지역을 제외한 나머지 지역의 경우 16.8~17.2°C로 다소 낮은 경향이였다. 5월 10일 파종 시 입모율 또한 대구지역을 제외하고는 가장 낮은 경향이였는데 이는 파종 후 10일간의 평균온도가 17°C정도로 낮아 벼씨의 생육이 원활하지 못했던 결과라 판단된다. 반면 대구지역의 경우 파종기에 따른 입모율의 차이가 나타나지 않았는데 이는 5월 10일 파종기부터 파종 후 10일간의 평균온도가 19°C 이상으로 입모에 유리한 온도가 확보되어 이후 파종기가 늦어지더라도 입모율이 유의하게 증가하지 않은 것으로 판단된다. 대구를 제외한 지역에서는 파종시기가 5

월 20일로 늦어지면서 파종 후 10일간 평균기온이 19.0~19.5°C를 보였으며, 5월 10일 파종기와 비교하여 약 2°C 상승하였다. 입모율은 5월 20일 파종 시 5월 10일 파종에 비해 약 9.8% 증가하였는데 이는 파종 후 10일간의 평균온도 상승에 따른 것으로 판단된다. 반면 5월 30일 파종의 경우 익산지역을 제외한 모든 지역에서 5월 20일 파종과 비교하여 유의한 차이를 보이지 않았는데 이는 5월 20일 파종부터 벼씨 생육에 유리한 온도가 확보되어 더 이상의 온도상승의 효과가 없는 것으로 사료된다. 단위면적당 이삭수는 파종기가 5월 10일에서 20일로 늦어지면서 증가하는 경향이였으나 5월 30일 파종기의 경우 5월 20일 파종과 비교하여 유의한 차이를 보이지 않았는데 이는 입모율 증가와 유사한 경향으로 파종 후 10일간의 평균기온 상승에 따라 입모율 및 단위면적당 이삭수가 증가한 것으로 판단된다. 출수기는 파종기가 10일 늦어지면서 지역에 따라 2~4일 정도 지연되는 경향이였다.

각 지역별 파종시기에 따른 수량구성요소의 변화를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 출수 후 40일간 평균기온은 파종시기가 늦어짐에 따라 출수기가 늦어지면서 낮아지는 경향으로 파종시기가 10일 지연되면서 약 0.5°C 내외로 낮아지는 경향이였다. 등숙율과 천립중은 파종시기에 따른 차

Table 3. Yield components in wet hill seeding according to cultivation area and seeding date.

Area (Cultivar)	Cultivation method	Date of WHS & TP (m.dd)	RR (%)	SN (no./m ²)	TGW (g)	RY (kg/10a)	RYI (%)	MT40 (°C)
Iksan (Sukwang)	WHS	5.10	91.3c	30,722b	22.8a	491b	88c	23.2
		5.20	92.8b	32,279ab	23.1a	525ab	94b	22.6
	TP	5.30	94.4a	33,430a	23.5a	553a	99a	22.0
		5.30	94.9a	32,825a	23.4a	559a	100a	23.6
Naju (Hyunpum)	WHS	5.10	92.0ab	31,413c	24.6a	559b	93b	22.6
		5.20	91.1b	36,745b	24.7a	602a	100a	22.0
	TP	5.30	93.4a	35,972b	24.3a	607a	101a	21.6
		6.05	91.4ab	39,023a	24.8a	601a	100a	22.1
Daegu (Samkwang)	WHS	5.10	92.8ab	34,416c	22.8a	543b	92b	22.8
		5.20	92.1b	37,042ab	22.4a	579a	98a	22.5
	TP	5.30	92.9ab	38,721a	22.4a	591a	100a	21.9
		5.30	93.7a	36,146b	22.3a	592a	100a	23.5
Jinju (Youngho-jinmi)	WHS	5.10	92.6b	31,829c	22.9a	501c	87d	21.9
		5.20	94.5a	32,411b	23.2a	547b	95c	21.4
	TP	5.30	93.4ab	37,483a	22.9a	599a	104a	20.6
		6.05	93.2ab	30,834c	23.1a	577ab	100b	21.2

TP: Machine transplanting, WHS: wet hill seeding, RR: ripening rate, SN: spikelet number, TGW: thousand of grain weigh(g), RY: rice yield, RYI: rice yield index(wet hill seeding/machine transplanting, %), MT40: mean temperature for 40 days after heading. Same letters are not significantly different at p<0.05(Duncan's multiple test)

이를 나타나지 않았다. 파종시기가 5월 10일에서 20일로 늦어지면 단위면적당 벼알수 및 쌀수량이 증가하는 경향이었는데, 이는 단위면적당 이삭수가 증가한 결과라 판단된다. 5월 30일 파종 시 단위면적당 벼알수 및 쌀 수량 변화는 지역에 따른 차이를 보여 유의한 결과가 나타나지 않았다. 파종시기 5월 10일 시 지역별 평균수량은 이양재배 대비 89.8%로 나타났으며, 5월 20일 및 5월 30일 파종의 경우 5월 10일 파종에 비해 각 6.8%, 11.2% 증가하였다.

무논점파 파종시기에 따른 주요 요인별 상관관계 분석

각 지역별로 벼 무논점파 파종 후 10일간 평균기온과 파종시기별 수량관련 요인을 종합하여 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 벼씨 파종 후 10일간 평균기온은 입모율, 단위면적당 이삭수, 이양대비 수량과 정의 상관관계를 보였으며, 입모율은 단위면적당 이삭수 및 벼알수, 등숙율, 이양대비 수량과 정의 상관관계를 보였다. 단위면적당 이삭수는 단위면적당 벼알수와 부의 상관관계를 보였다. 벼씨 파종 후 10일간 평균기온이 높을수록 입모율이 향상되며, 이 때문에 단위면적당 벼 알수가 증가하여 수량증대에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 벼씨 파

종 후 10일간 평균기온과 이양재배 대비 각 파종시기별 수량과의 관계를 분석하였다(Fig. 2(A)).

벼씨 파종 후 10일간 평균기온이 21°C까지 증가할수록 이양대비 수량지수는 증가하는 경향이었으나 그 이상의 온도에서는 큰 차이를 보이지 않았다, 벼씨 파종 후 10일간 평균기온이 19°C일 경우에는 이양대비 수량지수는 96%, 20°C일 경우에는 이양대비 98%수량 확보가 가능한 것으로 나타났다. 지대별로 벼 무논점파 재배 시 이양대비 98% 수량 확보를 위해서 파종이 가능한 날짜를 확인해본 결과, 일부 내륙지방의 경우 5월 중순부터 파종이 가능하였으나 바다의 영향을 많이 받는 해안지역의 경우 대체로 5월 하순경에 파종이 가능하며 산간내륙지역의 경우 봄철 온도상승이 늦어 벼 무논점파 재배 시 안정 수량 확보가 어려운 것으로 나타났다(Fig. 2(B)).

지역별 무논점파 재배시기에 따른 잡초 및 잡초성벼 발생 양상분석

지역별 무논점파 시기에 따른 잡초 및 잡초성벼 발생 정도를 분석한 결과는 Table 5와 같다. 지역별 파종시기에 따라 발생 잡초의 종류는 다소 달라졌지만 파종시기가 늦어

Table 4. The correlation of each factor.

	STR (%)	PN (No.)	SNP (No.)	SN (No.)	RR (%)	TGW (g)	RY
MT10 (°C)	0.64*	0.14	0.44	0.88**	0.38	0.08	0.74**
STR (%)		0.78**	-0.34	0.60*	0.58*	0.12	0.64*
PN (No.)			-0.61*	0.24	0.50	0.08	0.10
SNP (No.)				0.40	0.44	-0.23	0.68*
SN (No.)					0.01	-0.14	0.85**
RR (%)						-0.35	0.12
TGW (g)							0.34

MT10: mean temperature for 10 days after seeding, STR: seeding stand rate (%), PN: panicle number (No./m³), SNP: spikelet number per panicle, SN: spikelet number (No./m³), RR: ripening rate (%), TGW: thousand of grain weigh (g), RY: rice yield (kg/10a)

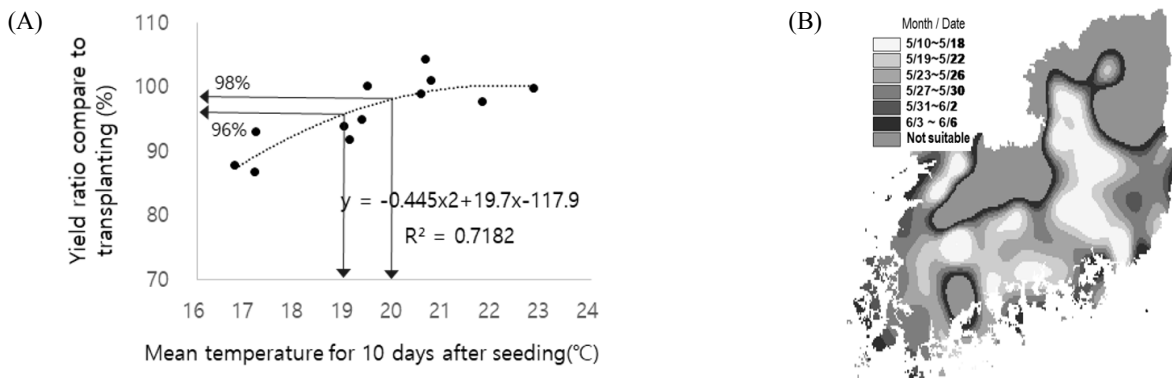


Fig. 2. Change of yield ratio (wet hill seeding/machine transplanting) according to mean temperature for 10 days after seeding (A) and adaptable seeding date of wet hill seeding in Southern area (B).

Table 5. Weed and weedy rice occurrence according to cultivation region and seeding date in wet hill seeding method.

Cultivation area	Seeding date of WHS (m.dd)	Weed occurrence		No. of weedy rice (m ²)
		Species (No./m ²)	Dry weigh (g/m ²)	
Iksan	5.10	7.0a	137.2a	-
	5.20	6.7a	121.6a	-
	5.30	6.0a	74.5b	-
Naju	5.10	3.0a	148.1b	-
	5.20	3.0a	272.3a	-
	5.30	3.3a	160.8b	-
Daegue	5.10	6.0a	37.3b	-
	5.20	6.0a	73.9a	-
	5.30	6.0a	26.7b	-
Jinju	5.10	4.0a	4.4a	0.34a
	5.20	2.3b	3.3a	0.13b
	5.30	2.0b	0.6b	0.03c
Mean	5.10	5.6a	81.7b	0.09a
	5.20	5.4a	117.8a	0.03b
	5.30	5.1a	65.6c	0.01c

WHS: wet hill seeding. Same letters are not significantly different at p<0.05 (Duncan's multiple test)

Table 6. Proper seeding date of wet hill seeding cultivation in Southern region.

Region	Area	Date (m.dd)	Region	Area	Date (m.dd)
Honam	Inland Plains	5.21-6.05	Yeognam	Southern Inland Plain	5.16-5.31
	West Coast	5.27-6.05		Central Inland Plain	5.21-5.26
	South Coast	5.27-6.05		South Coast	5.21-6.05
				East Coast, south of Pohang city	5.26-6.05

Table 7. The beginning seeding date for stable seedling stand and yield of wet hill seeding by each region in Southern Province.

Jeollabuk-do	Date (m.dd)	Jeollanam-do	Date (m.dd)	Gyeongsangbuk-do	Date (m.dd)	Gyeongsangnam-do	Date (m.dd)
Gunsan	5.28	Gangjin	5.27	Gampo	6.6	Geoje	5.29
Gimje	5.23	Goheung	5.31	Kyongsan	5.15	Gechang	N.S
Namwon	5.25	Gogseong	5.24	Gyeongju	5.27	Goseong	5.24
Muju	N.S	Gwangyang	5.19	Golyeong	5.25	Gimhae	5.17
Byeonsan	6.05	Gwangju	5.18	Gumi	5.18	Namhae	5.24
Buan	5.28	Gulye	5.21	Gunyu	5.28	Milyangng	5.20
Sunchang	5.25	Naju	5.22	Gimcheon	5.22	Busan	6.01
Sindeog	N.S	Damyang	5.24	Dalseong	5.16	Jinyeong	5.18
Yeosan	5.22	Ttangkkeut	6.01	Daegu	5.13	Sacheon	5.20
Wanju	5.24	Mogpo	5.27	Mungyeong	N.S	Sancheon	5.25
Iksan	5.24	Muan	5.28	Bonghwa	N.S	Yangsan	5.29
Imsil	N.S	Beolgyo	5.22	Sangju	5.20	Ulsan	5.26
Jangsu	N.S	Boseng	N.S	Sunshan	5.19	Uilyeong	5.25
Jeonju	5.19	Suncheon	5.18	Seongju	5.21	Jinju	5.25
Jeongeub	5.22	Yeosu	5.29	Angye	5.18	Jinhae	6.02
Jinan	N.S	Yeonggwang	5.30	Andong	5.26	Changwon	5.21
Taein	5.24	Yeongam	5.23	Yeongdeog	N.S	Cheongdo	5.24
		Wando	5.28	Yeongyang	N.S	Tongyeong	6.01
		Jangseong	5.27	Yeongju	N.S	Hadong	5.19
		Jangheung	5.28	Yeongcheon	5.28	Hanan	5.23
		Jindo	6.01	Yecheon	N.S	Hamyang	5.23
		Hampyeong	5.25	Ulkin	N.S	Habcheon	5.22
		Hanam	5.29	Uiseong	N.S	Hwagae	5.25
		Hwaseon	5.23	Jugjang	N.S		
				Cheongsong	N.S		
				Chilgog	5.18		
				Pohang	5.26		
				Hawang	5.17		

N.S: not suitable for wet hill seeding

집에 따라 잡초발생 초종수와 발생량은 감소하였다. 잡초성벼의 경우 익산, 나주, 대구지역에서는 발생하지 않았으나 진주지역에서는 파종시기가 늦어짐에 따라 잡초성벼의

발생량이 감소하는 경향이였다. 잡초성벼는 이양재배포장에서는 발생량이 낮으며 직파재배에 전환 시에도 2~3년간은 발생량이 많지 않다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 1998;

Park *et al.*, 2002). 이와 유사하게 본 시험에 사용된 포장은 벼 무논점파 파종시험이 진행되기 전 이양재배를 수행하였던 곳이어서 잡초성벼의 발생이 많지 않았던 결과로 판단된다. 잡초 및 잡초성벼 발생량 조사 결과, 벼 파종시기가 5월 30일로 늦어질수록 발생량은 감소하는 경향이었는데 파종시기가 늦어질수록 잡초와 잡초성벼를 더 많이 발생시킨 후 파종을 위한 포장정리를 한 결과로 판단된다.

지역별 무논직파재배 파종시기 분석

잡초성벼는 벼와 유전조성이 동일하여 벼와 동시에 포장에 발생 시 제초제를 통한 처리가 불가능하다. 따라서 잡초성벼 방제의 가장 효율적인 방법은 벼 파종전에 잡초성벼를 경종적으로 방제하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2002; Im *et al.*, 2004). 잡초성벼 방제 후 벼 파종 시 포장관리를 위한 기간이 필요한데 보통 파종 10일 전에 물을 대고 논갈이를 시작하는 것을 추천하고 있다(NICS, 2014). 발아 후 벼의 생육시험 결과, 입모확보를 위해서는 10일간 평균기온이 18°C 이상은 되어야 하는 것으로 나타났으며, 잡초성벼는 15°C에서 14일 후 80%이상의 출현율을 보이는 것으로 나타났다. 평균온도 18°C이상에서는 대부분의 잡초성벼가 출현을 완료할 것으로 기대된다. 따라서 논에서 자연적으로 잡초성벼를 충분히 출현시켜 방제할 수 있을 뿐 아니라 파종 후 10일간 평균기온이 20°C인 시기를 입모 및 수량성 확보가 가능한 파종가능 시작 시기로 설정하였고(Fig. 2), 벼 출수 후 40일간 평균기온이 22°C가 되는 시기를 안전출수한계기로 설정하여(Choi *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2007) 남부지역별 지대별 무논점파 파종 적합시기를 분석한 결과는 Table 6과 같다. 기존 연구결과, 벼 무논점파재배 시 남부지역의 파종적기는 호남지역의 경우 5월 17일~31일, 영남지역의 경우 5월 16~31일로 알려져 있다(NICS, 2017). 그러나 잡초성벼 방제 후 수량을 확보하기 위한 파종적기는 기존 파종적기에 비해 다소 늦어지는 경향으로, 호남지역의 경우 내륙평야지는 5월 21일~6월 5일, 서해안지 5월 27일~6월 5일, 남해안지 5월 27일~6월 5일로 나타났으며, 영남지역의 경우 남부내륙평야지는 5월 16일~5월 31일, 중부내륙평야지 5월 21일~5월 26일, 남해안지 5월 21일~6월 5일이 파종적기로 나타났다. 각 지역의 도시별로 파종적기를 분석한 결과는 Table 7과 같으며 진도, 부산, 통영 등 남부해안지역은 바닷물의 영향으로 봄철 온도상승이 늦어 파종시기를 6월 초로 늦추는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그러나 남부 해안지를 제외한 무주, 진안 등 중간지와 영덕, 의성 등 경북 중북부 지역등은 무논직파재배를 하지 않는 것이 바람직 한 것으로 나타났는데, 이들

지역의 경우 등숙온도를 확보하려고 파종기를 앞당길 경우 저온에 의한 입모불안정과 잡초성벼 방제가 어려워 직파재배 실패의 우려가 크며, 잡초성벼를 방제한 후 입모안정이 가능한 시기에 파종하면 안전출수한계기보다 늦게 출수하여 충분한 등숙 기간을 확보하지 못할 것으로 예상된다. 또한 중만생종 벼를 무논직파로 재배할 경우 충분한 등숙온도 확보가 어려워 조생종 또는 중생종 재배만 가능한 지역은 직파재배를 지양하고 중만생종을 이양재배 하는 것이 쌀 수량성 확보와 고품질쌀 생산에 유리하다고 판단된다.

적 요

무논점파재배는 벼 직파재배 중 재배안정성이 가장 높은 것으로 알려져 있지만 잡초성벼의 발생량이 많은 단점이 있다. 잡초성벼를 효율적으로 방제하면서 수량을 확보하기 위해서는 잡초성벼가 출현되고 나서 경종적 또는 화학적 방제를 하고 벼를 파종하는 것이 효율적이다. 이에 지역별로 잡초성벼를 방제하고 무논점파 재배 시 벼 수량확보가 가능한 지역별 적합 파종기를 설정하고자 본 시험을 수행하였다.

1. 잡초성벼 유전자원 8점을 이용하여 분석한 결과, 잡초성벼의 출현율이 80% 이상이 되기 위해서는 평균온도 14°C 및 15°C 가 각 21일 및 14일 필요한 것으로 나타났다.
2. 벼 발아 후 온도에 따른 생육변화를 분석한 결과, 파종 후 10일간 평균기온이 20°C 정도 되어야 3 cm 내외의 초기생육이 확보되어 조기 활착과 입모안정화에 유리하였다.
3. 벼 무논직파 파종시기에 따른 수량 요소간 상관관계를 분석한 결과, 5월에 무논점파할 경우 벼 파종 후 10일간 평균기온은 입모율, 단위면적당 벼알수 및 이양대비 수량에 정의 상관을 보였다.
4. 남부지역에서 잡초성벼 방제 후 이양대비 98%이상의 수량을 확보하기 위해서는 벼 파종 후 10일간 평균기온이 20°C 이상이 되어야 하며, 벼의 안전출수기를 고려할 경우 파종적기는 지대에 따라 호남지역은 5월 21일~6월 5일, 영남지역은 5월 16일~6월 5일로 나타났다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(국책기술개발사업,

과제번호: PJ011577)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Choi, W.Y., J.K. Nam, S.S. Kim, J.H. Lee, J.H. Kim, H.K. Park, N.H. Baek, M.G. Choi, C.K. Kim, and K.Y. Jung, 2005. Optimum transplanting date for production quality rice in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(6) : 435-441.
- Choi, M.K., B.I. Gu, S.G. Kang, W.G. Sang, N.H. Baek, Y.D. Kim, H.K. Park, W.Y. Choi, T.S. Park, and B.K. Kim, 2012. Study on the optimal seeding date of rice direct hill seeding on puddle paddy in Honam plain area. *Korean J. Intl. Agri.* 24(3) : 325-330.
- Hwang, W.H., J.S. Back, S.H. An, H.Y. Jeong, H.S. Lee, J.T. Yoon, T.S. Park, G.H. Lee, and K.J. Choi. 2017. Emergence characteristics of weedy rice collected in South Korea. *Weed Turf. Sci.* 6(3) : 179-188.
- Im, I.B., J.K. Kang, and S. Kim, 2004. Physio-Ecological characteristics and control of weedy rice in the rice paddy. *Kor. J. Weed Sci.* 24(1) : 56-63.
- Im I.B., B.H. Im, J.H. Park, J.H. Jang, M.H. Im, and I.Y. Lee. 2015. Weeds on rice paddy field of Jeonnam western region. *Weed Turf. Sci.* 4(4) : 295-307.
- Kim, J.K., J.L. Lee, K.H. Park, and M.H. Lee. 1995. Characteristics of the rice plant associated with lodging highly adapted in broadcast-seeded cultivation. *RDA. J. Agri. Sci* 37(2) : 20-28.
- Kim, C.S., S.J. Lee, J.Y. Ko, E.S. Yoon, U.S. Yeo, J.H. Lee, D.Y. Kwak, M.S. Shin, and B.G. Oh, 2007. Evaluation of optimum rice heading period under recent climate change in Yeonnam area. 9(1) : 17-28.
- Kim, S.Y., Y. Son, W.K. Ha, S.T. Park, and S.C. Kim, 1998, Occurrence of weedy rice as affected by rice cultivation methods. *Kor. J. Weed Sci.* 18(supp.1) : 57-59.
- Kim, S.Y., B.C. Moon, S.T. Park, S.O. Shin, and S.J. Yang. 2002. Control of water foxtail (*Alopercurus aequalis* var. *amurensis* Ohwi.) by paraquat and glyphosate in no-tillage dry seeded rice. *Kor. J. Weed Sci.* 22(4) : 344-349.
- Lee, C.W., J.E. Hill, and Y.J. Oh. 1993. Germination and dissolved oxygen uptake of californoa rices in water seeding. *Korean J. Crop Sci.* 38(2) : 117-120.
- National Institute of Crop Science (NICS). 2012. Methods of soil and plant analysis. RDA. Suwon, Korea.
- National Institute of Crop Science (NICS). 2014. Manual for rice direct seeding.
- National Institute of Crop Science(NICS). 2017. Manual for rice direct seeding.
- Park, S.H., C.W. Lee, W.H. Yang, and R.K. Park. 1986. Direct seeding cultivation on submerged paddy in rice. *Korean J. Crop Sci.* 31(2) : 204-213.
- Park, S.H. 1994. Summary of rice direct seeding technology in Japan. p219.
- Park, S.H., D.Y. Kwak, D.K. Shin, S.Y. Kim, and D.S. Lee. 1999. Rice seeding establishment and early growth affected by seeding depth and flooding duration for anaerobic wet seeding. *Kor. J. Intl. Agri.* 11(2) : 161-168.
- Park, H.K., S.S. Kim, W.Y. Choi, K.S. and Lee, J.K. Lee, 2002, Effect of continuous cultivation years on soil properties, weed occurrence and rice yield in no-tillage machine transplanting and direct dry seeding culture of rice. *Kor. J. Crop Science.* 47(3) : 167-173.
- Shon, J.Y., J.C. Ko, W.J. Kim, B.K. Kim, C.K. Kim, and N.J. Jung. 2008. Changes of antioxidative enzymes and alcohol dehydrogenase in young rice seedlings submerged in water. *KoreanJ. Crop Sci.* 53(3) : 430-446.
- Shon, J.Y. 2011. Physio-biochemical characterization and transcript profiling of hypoxia and anoxia-tolerant rice during germination and early seedling growth. Thesis of Ph.D. Chonbuk National University.
- Shon, J.Y., C.K. Lee, J.H. Kim, Y.H. Yoon, and W.H. Yang, 2012. Comparison of growth, heading and grain filling characteristics between wet hill seeding and transplanting in rice. *Korean J. Crop Sci.* 57(2) : 151-159.
- Shon, J.Y., C.K. Lee, J.H. Kim, Y.H. Yoon, W.H. Yang, K.J. Choi, H.K. Park, T.S. Park, C.K. Kim, and Y.H. Yoon, 2013. Changes of weedy rice occurrence in repeated wet direct seeding and alternate transplanting/wet direct seeding of rice. *Weed Turf. Sci.* 2(4) : 348-351.
- Yang, W.H., J.K. Kim, M.H. Lee, S.C. Chen, and H.S. Han. 2015. Status and prospect on rice direct seeding technology of farmers. *Koran J. Int. Agri.* 27(3) : 342-347.