한작지(Korean J. Crop Sci.), 58(2): 169~176(2013) DOI : http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2013.58.2.169

질소 추비시용이 밀 수발아 억제에 미치는 영향

김영진† · 김학신 · 강천식 · 김경훈 · 현종내 · 김기종 · 박기훈

농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부

Effect of Additional Nitrogen Fertilizer Application on Decreasing of Preharvest Sprouting in Winter Wheat

Young-Jin Kim†, Hag-Sin Kim, Cheon-Sik Kang, Kyoung-Hun Kim,

Jong-Nae Hyun, Kee-Jong Kim, and Ki-Hun Park

Department of Rice and Winter Cereal Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Iksan 570-080, Korea

ABSTRACT Preharvest sprouting seriously reduces milling and baking quality of hard winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain. To determine the effect of nitrogen fertilizer application on decreasing of preharvest sprouting, several levels of N-fertilization were conducted in two winter wheat cv. Keumkang and Jokyung, grown in Iksan. Nitrogen fertilization is used to increase grain yield and protein content. Grain yield increased at 108kg/ha (50% increased nitrogen to the standard) application and decreased as more nitrogen was applied. There was a linear increase in grain protein contents with increasing level of nitrogen application. Germination rate, germination index and ABA sensitivity were gradually reduced by increasing of nitrogen application level. Preharvest sprouting showed a significantly correlation to germination rate but could not be correlated to protein content and falling number. A significant positive correlation was detected between preharvest sprouting and different additional nitrogen fertilizer levels.

Keywords : wheat, preharvest sprouting, nitrogen fertilization, ABA sensitivity

밀의 수확시기인 6월 초·중순의 우리나라 기상조건은 이른 장마처럼 강우가 지속되는 경향이 많다. 출수기 이후 오랫동안 비를 맞으면 종실이 수분을 흡수한 채로 비교적 낮은 온도에 처하게 되고 발아억제 물질이 씻겨 내려가면서 휴면이 타파되어 포장에 서있는 상태로 이삭에서 싹이 나는 '수발아' 현상을 야기시킨다(Nielsen *et al.*, 1984). 특히 성숙기가 늦거나 휴면기간이 짧은 백립계 품종들은 등숙 후기에 수발아 위험이 크다. 밀 종자에 수발아가 발생하게 되면 종자의 용적중, 배유비율, 제분비율 등의 품질을 저하시킬 뿐 아니라 수량을 크게 감소시킨다(Morris & Paulsen, 1985; Nakatsu *et al.*, 1999; Detje, 2008). 수발아 저항성은 일차적으로 종자의 휴면 정도와 기간에 의해 좌우되며, 비록 휴면이 유전학적 원인에 의해 조절되지만 휴면의 정도와 기간은 종자가 성숙하는 과정에서 일장이나 온도 등 외계 환경조건에 의해서도 영향을 받는다고 알려져 있다(Finch-Savage WE & Leubner-Metzger, 2006; Nielsen *et al.*, 1984). 일반적으로 일차 휴면과 수발아 저항성 간에는 정의 상관이 있으며, falling number가 낮으면 α-amylase 활성이 높고 수발아가 잘 이루어진다고 알려져 있다(Detje, 2008). 수발아를 줄일 수 있는 방법으로는 수발아 저항성 품종 및 조숙품종을 재배하여 출수기 이후 강우와 조우하는 기회를 적게 하고, 후숙기간이 긴 품종을 재배하는 것이 좋다. 그 외의 재배적 방법으로는 수발아 억제제인 MH(maleic hydrazide)나 α-NAA 등을 출수 후 20일 경에 처리하여 휴면을 연장하는 방법이 있으나(Lila & Nambisan, 1992), 실제로는 밀 재배에서 거의 사용되지 않고 있다. 그런데 Huang & Varriano-Marston(1980)은 종실의 단백질 함량과 수발아와 관련있는 α-amylase 활성 및 falling number 사이에 고도의 유의성이 있음을 보고하여 재배적 방법, 특히 단백질 함량과 관계있는 질소 시비법에 따라 수발아 정도를 조절할 수 있는 가능성을 제시한 바 있다. 실제로 밀 재배에서 질소 시비는 단백질 함량, α-amylase 활성, 휴면성 및 falling number 등에 영향을 미치며, 이러한 요인들은 결국

†Corresponding author: (Phone) +82-63-840-2237 (E-mail) yjikim@korea.kr
<Received 8 February, 2013; Revised 12 March, 2013; Accepted 14 March, 2013>

종실의 수발아와 관련이 있다고 보고되고 있다(Daniel *et al.*, 2005; Detje, 2008; Morris & Paulsen, 1985; Nakatsu *et al.,* 1999). 일반적으로 추파밀에서 월동 후 재생기에 수량과 단백질 함량의 증가를 위해 질소비료를 추비(웃거름)로 시용하지만, 국내 밀 품종에 대해서 질소 시비수준과 수발아와의 관련성에 대해서는 아직 연구된 바 없다. 따라서 본 연구는 밀의 재배적 방법을 통해 수발아 피해를 경감시키기 위해 질소 추비의 처리수준별로 수발아 정도를 파악코자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 질소의 시용수준을 달리한 비배관리가 밀 종실 특성 및 수발아에 미치는 영향을 구명코자 금강밀과 조경밀을 공시하여 2009년 10월 28일과 2010년 10월 22일에 국립식량과학원 벼맥류부 답리작 포장(전북 익산 소재)에 파종하였다. 파종량은 150 kg/ha으로 하고, 파종방법은 휴폭×파폭을 1.5×1.2 m로 하는 휴립광산파로 하였으며, 각 처리별 휴장은 7 m로 하였다. 시비는 토양의 진단시비 처방을 기초로 하여 120-80-70 kg/ha(N-P_2O_5-K_2O)을 표준으로 삼았다. 질소질 비료는 기비(밑거름):추비(웃거름)를 4(48 kg N/ha):6(72 kg N/ha)의 비율로 시비하였으며, 인산질 및 칼리질 비료는 파종 전에 전량 기비로 시용하였다.

질소의 추비는 요소비료(46% N)를 2월 하순경 생육재생기에 기비・추비 무비, 추비 무비, 표준(72 kg N/ha), 50% 감비(36 kg N/ha), 50% 증비(108 kg N/ha), 100% 증비(144 kg N/ha)의 6수준별로 난괴법 3반복 처리하였으며 시비수준별로 출수기, 생육, 종실특성, 수량 등의 농업형질과 발아율, 수발아율, ABA sensitivity, falling number, 단백질 등의 수발아 관련 특성을 조사하였다.

Table 1. Agronomic characteristics of wheat at different additional nitrogen fertilizer levels in 2010 and 2011.

Year	Additional nitrogen application	Heading date		Maturing date		Stem length (cm)		Spike length (cm)		No. of spikes (ea/m^2)		No. of floret (ea/spike)		Fertile grain rate (%)	
		Keu‡	Jok	Keu	Jok	Keu	Jok	Keu	Jok	Keu	Jok	Keu	Jok	Keu	Jok
2010	Control 1†	May 2	Apr.30	June 10	June 10	65	70	7.2	7.4	600	520	33.4	33.8	56.0	71.6
	Control 2	May 3	May 1	June 10	June 10	69	71	7.5	7.7	730	600	38.2	34.3	59.2	71.8
	50% decrease	May 3	May 1	June 10	June 10	76	78	8.0	8.1	840	690	38.2	34.5	60.2	69.3
	Standard	May 3	May 1	June 11	June 11	82	83	8.1	8.2	890	720	38.1	38.8	61.4	70.9
	50% increase	May 3	May 1	June 12	June 11	78	84	8.8	8.7	900	860	38.5	38.7	62.5	72.5
	100% increase	May 3	May 1	June 12	June 12	84	82	8.7	9.0	870	874	41.6	41.0	60.8	72.3
	Mean	May 3	May 1	June 11	June 11	74.00	78	7.92	8.02	792.00	678.00	37.28	36.9	60.0	71.22
	SD					7.2	6.5	0.4	0.7	174	139	1.6	2.3	2.5	1.7
2011	Control 1†	Apr.30	Apr.28	June 9	June 9	61	59	5.6	5.5	430	463	29.2	22	51.7	64.7
	Control 2	May 1	Apr.29	June 9	June 9	67	65	6.3	6.1	635	642	31.4	25.4	53.0	65.3
	50% decrease	May 1	Apr.29	June 9	June 9	67	66	6.4	6.1	647	655	32.1	28.4	57.7	68.7
	Standard	May 1	Apr.29	June 10	June 10	65	66	6.5	6.6	674	662	32.4	27.5	59.3	70.7
	50% increase	May 1	Apr.29	June 11	June 10	69	66	6.6	6.8	772	754	34.3	29.3	60.3	69.7
	100% increase	May 1	Apr.29	June 11	June 11	68	66	6.5	6.6	722	738	32.6	28.2	71.0	73.3
	Mean	May 1	Apr.29	June 10	June 10	66	65	5.30	5.30	555.33	552.50	26.83	22.48	47.42	56.80
	SD					7.1	4.3	0.2	0.5	182	148	1.1	2.5	3.6	2.5

†Control 1: Basal and additional nitrogen 0, Control 2: Additional nitrogen 0
‡Keu: Keumkang, Jok: Jokyung.

생육 및 수량성은 농촌진흥청시험연구조사기준에 준하여 조사・분석하였으며, 단백질은 밀 제분기(Buhler laboratory mill, MLU 202, Sweden)를 이용하여 원맥을 제분한 후 밀가루를 분석하였는데, 질소/단백질 분석기(Elementar Analysensyster, Vario Macro)를 이용하여 전질소함량을 구한 다음 질소계수 5.7을 곱하여 산출하였다. Falling number는 Falling Number 1500(Perten Instruments, Sweden)을 이용하여 AACC 방법(2000)에 따라 측정하였다.

종자 발아시험은 6월에 수확한 종자를 사용하여 7월에 수행하였다. Petri dish에 여과지(Whatman No. 2) 2장을 깔고 50립의 종자를 치상한 뒤 10 ml 멸균수를 넣고 20℃, 암조건에서 발아시켰다. 4반복 처리하였으며 발아율과 Germination index를 조사하였다. Germination index(GI)는 다음의 공식에 의해 계산하였다. GI=(7×**n**1+6×**n**2+5×**n**3+4×**n**4+3×**n**5+2×**n**6+1×**n**7)/(전체발아일수×치상종자수), 단 **n**1, **n**2, … **n**7은 1일째, 2일째 및 7일째에 발아된 종자수를 나타낸다. Abscisic acid(ABA, +/−ABA Sigma-Aldrich) sensitivity 반응(Walker-Simmons, 1987)을 보기위해, 종자발아 시험과 동일 조건에서 멸균수 대신 50 μM의 ABA 10 ml를 처리하여 발아율을 조사하였다.

수발아 정도는 모래묻이법(Bayer, 1987)을 사용하여 실내에서 검정하였다. 밀 이삭은 6월 10일경 생리적 성숙기에 도달했을 때 처리별 10수씩 무작위로 선발하여 이삭 바로 아래 2 cm 줄기 부분을 잘라 검정재료로 사용하였다. 수확한 이삭은 20℃의 밀폐된 장소에서 젖은 모래가 담겨있는 플라스틱 상자에 묻어놓고 미스트기(Humidifier HR-25, Faran Industrial C., Korea)를 이용하여 시간당 2,500 ml를 3,400 rpm으로 분무하여 인위적으로 수발아를 유도하였다. 조사는 14일 후 이삭별로 발아된 종자의 갯수를 세어 수발아율을 계산하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 질소 추비 수준에 따른 밀의 출수기, 성숙기, 간장, 수장, 수수, 영화수 및 임실율을 나타낸 것이다. 2010년의 밀 출수기는 조경 5월 1일로서 금강 5월 3일보다 2일 빨랐으나, 성숙기는 모두 6월 11일로서 일치했으며, 금강의 경우 출수 후 40일, 조경의 경우 출수 후 42일에 성숙기에 도달하였다. 2011년의 밀 출수기는 조경 4월 29일로서 금강 5월 1일보다 2일 빨랐으나, 성숙기는 모두 6월 10일로서

Table 2. Agronomic characteristics and yield of wheat grain at different additional nitrogen fertilizer levels in 2010 and 2011.

Year	Additional nitrogen application	1,000-seed weight(g)		Grain weight(g/ℓ)		Unmatured grain rate(%)		Moisture content(%)		Yield (kg/10a)		Index	
		Keum‡	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky
2010	Control 1†	42.2	44.5	797	807	2.34	2.16	13.4	13.5	182	227	53	56
	Control 2	41.7	44.2	796	799	1.98	2.05	13.7	13.9	221	247	64	61
	50% decrease	43.9	45.4	799	799	1.74	1.82	13.9	13.9	313	345	90	85
	Standard	45.1	45.8	793	793	1.63	1.65	13.7	14.2	346	407	100	100
	50% increase	45.1	46.3	792	801	1.48	1.53	13.8	13.8	426	510	123	125
	100% increase	45.2	45.9	791	797	1.49	1.48	13.9	13.7	426	486	123	119
	Mean	43.60	45.24	795	799	1.83	1.84	13.70	13.86	319	370	-	-
	LSD(5%)	----------								62	75		
2011	Control 1†	38.1	42.0	764	778	1.02	1.19	12.9	12.9	162	218	50	58
	Control 2	39.4	41.6	777	775	1.56	1.37	12.7	12.7	277	313	85	83
	50% decrease	39.9	42.9	776	784	1.24	1.35	13.1	12.8	280	360	86	96
	Standard	40.8	42.4	780	776	1.47	1.25	12.3	12.4	324	375	100	100
	50% increase	41.0	42.8	776	781	1.10	1.02	12.6	13.1	376	398	116	106
	100% increase	40.7	43.4	776	775	1.34	0.99	13.0	13.1	334	380	103	101
	Mean	43.60	45.24	795	799	1.83	1.84	13.70	13.86	292	341	-	-
	LSD(5%)	----------								72	68		

†Control 1: Basal and additional nitrogen 0, Control 2: Additional nitrogen 0.
‡Keum: Keumkang, Joky: Jokyung.

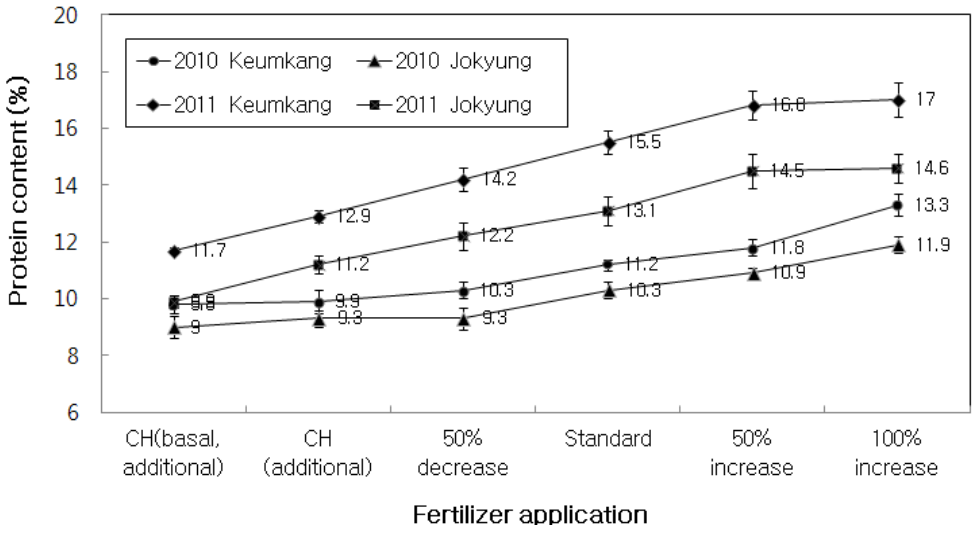

Fig. 1. Protein content of wheat cultivars grown under four additional nitrogen fertilizer levels in 2010 and 2011.

Table 3. Effect of additional nitrogen fertilizer on germination and ABA sensitivity in 2010 and 2011.

Year	Additional nitrogen application	Germination rate(%)		Germination index		ABA sensitivity		Falling number	
		Keum‡	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky	Keum	Joky
2010	Control 1†	91	89	0.82	0.80	0.69	0.66	777	766
	Control 2	97	82	0.91	0.76	0.76	0.69	596	670
	50% decrease	86	79	0.80	0.73	0.72	0.76	843	686
	Standard	79	76	0.72	0.68	0.68	0.59	851	778
	50% increase	71	72	0.65	0.65	0.56	0.57	720	666
	100% increase	68	71	0.61	0.64	0.60	0.51	784	651
	Average	94.00	85.50	0.86	0.78	0.72	0.68	686.50	718.00
	SD	6.2	4.6	0.02	0.14	0.19	0.11	113	94
2011	Control 1†	93	90	0.80	0.79	0.67	0.63	400	353
	Control 2	95	92	0.96	0.83	0.73	0.72	423	370
	50% decrease	90	89	0.91	0.85	0.69	0.79	403	393
	Standard	86	81	0.83	0.86	0.65	0.61	368	367
	50% increase	79	83	0.76	0.73	0.51	0.53	369	374
	100% increase	71	73	0.72	0.76	0.68	0.50	370	366
	Mean	86	85	0.83	0.80	0.66	0.63	389	371
	SD	5.7	5.1	0.02	0.11	0.16	0.10	108	88

†Control 1: Basal and additional nitrogen 0, Control 2: Additional nitrogen 0.
‡Keum: Keumkang, Joky: Jokyung.

일치했으며 금강의 경우 출수 후 40일, 조경의 경우 출수 후 42일에 성숙기에 도달하였다. 질수수준 증가에 따라 간장, 수장, 수수 및 영화수는 대체적으로 증가했으며, 임실율은 2010년에는 질소 50% 증비에서 금강은 62.5%, 조경은 72.5%로서 가장 높은 수치를 나타냈고, 2011년에는 100% 증비에서 금강은 71%, 조경은 73.3%로서 가장 높은 수치를 나타냈다. 연도별 생육특성을 살펴보면 2010년도에는 간장, 수장, 수수, 영화수 및 임실율 모두 2011년도보다 높은 수치를 나타내고 있었는데, 이는 2010년도의 밀 전체 생육기간의 평균기온이 2011년도보다 0.8℃ 높았고 강수량도

충분했기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2는 질소 추비 수준에 따른 밀 종실의 특성 및 수량 변화를 나타낸 것이다. 천립중을 제외한 리터중, 설립율 및 수분함량은 질소수준에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나, 종실 수량은 질소 수준이 증가함에 따라 계속 증가하여 50% 증비(108 kg N/ha) 처리에서 가장 높게 나타났으며 그 이후부터는 감소했다. 2010년에 금강은 426 kg/10 a, 조경은 510 kg/10 a로서 가장 높은 수치를 나타냈고, 2011년에 금강은 376 kg/10 a, 조경은 398 kg/10 a로서 가장 높게 나타났다. 연도별 종실특성을 살펴보면 2010년도에는 천립중, 리터중 및 수분함량이 2011년도보다 높은 수치를 나타내고 있음으로 수량에 있어서도 높은 경향을 보였다.

Fig. 1은 질소 추비 수준에 따른 밀 종실의 단백질 함량을 나타낸 것이다. 질소수준이 증가함에 따라 단백질 함량은 점차 증가하는 경향을 보였으며 100% 증비에서 가장 높은 함량을 나타냈고, 모든 처리 수준에서 금강이 조경보다 높은 단백질 함량을 보였다. 100% 증비 처리에서 2010년에는 금강이 13.3%, 조경이 11.9%의 단백질 함량을 나타냈으며, 2011년에는 금강이 17%, 조경이 14.6%의 높은 수치를 나타냈다.

Table 3은 질소 추비 수준에 따른 밀 종자의 수발아 관련 형질의 변화를 나타낸 것이다. 질소수준이 증가함에 따라 종자의 발아율, Germination index 및 ABA sensitivity가 점차 감소했는데, 이는 질소 추비 수준이 증가함에 따라 성숙기 종실의 단백질 함량 및 휴면성을 증가시켜 종실의 발아율을 감소시키는 결과를 초래한 것으로 보인다. 밀 종자의

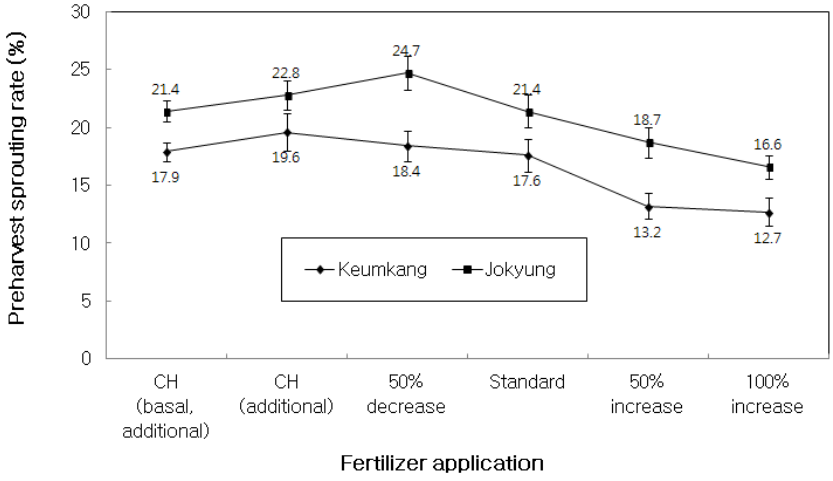

Fig. 2. Preharvest sprouting rate of grain of wheat cultivars at different additional nitrogen fertilizer levels.

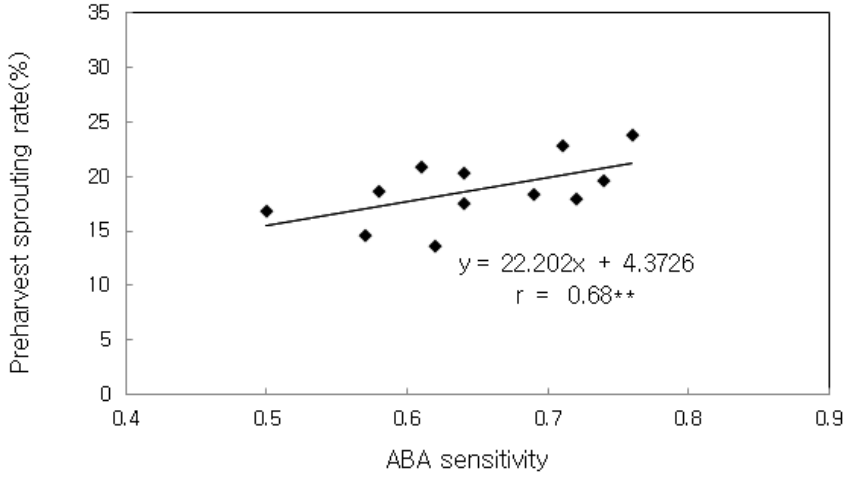

Fig. 3. Relationship between ABA sensitivity and preharvest sprouting in wheat.

Table 4. Correlation coefficients among five traits related to preharvest sprouting of wheat.

	Protein	Preharvest sprouting rate	Germination rate	Germination index	Falling number
Grain Yield	0.49	-0.56	-0.53	-0.38	-0.28
Protein		-0.31	-0.63*	-0.75**	-0.19
Preharvest sprouting rate			0.69**	0.61*	0.31
Germination rate				0.74**	0.32
Germination index					0.15

*, ** : Significant at P=0.05, P=0.01, respectively.

Germination index는 금강의 경우 무비(추비)에서 가장 높게 나타났으나, 그 이후에는 조경의 경우와 마찬가지로 질소 수준이 증가함에 따라 점차 감소하였다. ABA는 α-amylase 합성을 저해함으로서 종자의 휴면을 유발한다고 알려져 있다(Kawakami *et al.*, 1997; Garello and Le Page-Degivry, 1999). 휴면성이 강하거나 수발아에 저항성인 밀 품종에 ABA를 처리하면 감수성이 증가하였으나(Walker- Simmons, 1987; Morris *et al.*, 1989), 보리의 경우엔 ABA의 함량과 생리적 성숙기 이전의 일차휴면과 연관성을 나타냈고(Benech-Arnold *et al.*, 1999), ABA 함량과 감수성은 이차휴면과 정의 상관을 나타냈다는 보고가 있다(Leymarie *et al.*, 2008). Belderok(1968)은 적산온도, 상대습도 등의 환경조건이 밀 종자의 휴면에는 영향을 미쳤지만, 질소시비가 밀의 휴면에 큰 영향을 주지 못했다고 보고하였다. 본 시험에서 falling number는 질소 처리 수준에 따라 감소하는 경향을 나타냈는데, 이 같은 결과는 질소 시비를 통해 단백질 함량 및 falling number 등에 영향을 미친다는 다수 연구자들의 보고(Clarke *et al.*, 2004; Daniel *et al.*, 2005; Detje, 2008; Le Gouis *et al.*, 2002; Morris & Paulsen, 1985; Nakatsu *et al.*, 1999)와도 일치하는 결과를 나타냈다. 그러나 Gooding *et al.*(1986)은 질소 추비량이 0에서 300 kg N/ha 까지 증가할수록 도복지수가 높아지고 성숙기가 늦어짐에 따라 falling number가 높아진다는 상반된 결과를 보고하였다.

Fig. 2는 질소 추비 수준에 따른 밀 종자의 수발아율 변화를 나타낸 것인데, 조경의 경우 50% 감비에서 24.7%, 금강의 경우 무비(추비)에서 19.6%로 가장 높게 나타났으나, 질소 처리 수준이 증가함에 따라 수발아율은 점차 감소하였다. 이 같은 결과는 단백질 함량과 α-amylase 활성 간에 부의 상관이 있으며, 단백질 함량 증가에 따라 종실의 발아율이 낮음을 보고(Huang & Varriano-Marston(1980)한 결과와도 일치하고 있다. 또한 Daniel *et al.*(2005)은 200 kg/ha의 질소 시비가 falling number를 증가시키고 α-amylase 활성을 감소시키며 종자의 휴면성을 증가시켰다고 보고한 바 있다. 반면, Detje(1992)는 종실의 단백질 함량과 α-amylase 활성 간에 정의 상관이 있음을 보고하여 상반된 결과를 나타냈다. Morris & Paulsen(1985)은 질소시비량이 증가할수록 수발아 감수성을 가진 품종들의 수발아는 잘되었으나 저항성 품종들의 수발아는 잘 이루어지지 않았음을 보고했다.

Fig. 3은 ABA sensitivity와 수발아율과의 상관관계를 나타낸 것으로, 이 둘은 정의 상관을 나타내어 ABA sensitivity 결과를 간이 수발아 검정법으로 활용 가능할 것으로 보이며 Walker-Simmons(1987)도 수발아 저항성 및 감수성 품종간에 ABA 차이를 나타냈다고 보고하였다. 따라서 질소 추비 수준이 증가함에 따라 성숙기 종자의 ABA sensitivity는 감소하였으며 결국 종자의 수발아율도 감소되는 결과를 초래했다고 볼 수 있다.

Table 4는 종실 수량 및 수발아 관련 형질들과의 상관관계를 나타낸 것으로, 종실수량은 수발아 관련 형질들과 상관을 보이지 않았다. 수발아율은 발아율 및 Germination index와 각각 r=0.69**, r=0.61*로서 정의 상관을 보였으나 단백질 함량 및 falling number와는 유의성을 나타내지 않았다. 그러나 Trethowan(1995)는 falling numbe와 종자 휴면이 높은 상관을 나타내어 falling numbe와 발아율로도 수발아 평가가 가능하다고 보고하였다. Singh *et al.*(2008)도 종자의 발아시험이 성숙기 종자의 휴면정도를 나타내 주므로 수발아 저항성을 평가하는데 가장 좋은 방법이라고 보고한바 있는데 본 시험에서도 동일한 성적을 나타내었다. 이상의 결과에서 질소 추비 수준이 증가함에 따라 종자의 단백질 및 수량이 증가한 반면, 성숙기 종자의 발아율, ABA sensitivity 및 수발아율은 감소하였음을 알 수 있었다. 따라서 밀 수확기의 연속강우에 의한 수발아를 경감시키기 위한 최적의 질소 추비량은 종실의 최적 수량을 고려했을 때 표준시비량의 50% 증비 수준인 108kg N/ha이 적당할 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 질소 추비 시용수준을 달리한 비배관리가 수발아에 미치는 영향을 구명코자 금강밀과 조경밀을 공시하여 질소 추비 처리 수준별로 출수기, 생육, 종실특성 및 수발아 관련 형질을 비교하였다. 질수수준 증가에 따라 간장, 수장, 경수 및 영화수가 증가했으나, 임실율은 2010년에는 질소 50% 증비(108 kg N/ha)에서 가장 높은 수치를 나타냈고, 2011년에는 100% 증비(144 kg N/ha)에서 가장 높은 수치를 나타냈다. 밀 종실 특성 중 천립중, 리터중 및 수분함량은 질소수준에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나, 종실 수량은 질소 수준이 증가함에 따라 계속 증가하여 50% 증비에서 가장 높게 나타났으며 그 이후부터는 감소하였다. 종실의 단백질 함량을 살펴보면 질소수준이 증가함에 따라 점차 증가는 경향을 보였으며 100% 증비에서 가장 높은 함량을 나타냈고, 금강이 조경보다 높은 단백질 함량을 보였다. 밀 종자의 수발아 관련 형질간 비교에서는 질수수준이 증가함에 따라 발아율, Germination index 및 ABA sensitivity가 점차 감소했는데, 이는 종자의 수발아율을 낮추는 결과를 가져왔다. 밀 종자의 Germination index는 금강의 경우 무비(추비)에서 가장 높게 나타났으며 그 이후에는 조경의 경우와 마찬가지로 질소 수준이 증가함에 따라 점차 감소하였다. 밀 종자의 수발아율은 조경의 경우 50% 감비에서 24.7%, 금강의 경우 무비(추비)에서 19.6%로 가장 높게 나타났으나, 질소 처리 수준이 증가함에 따라 수발아율은 점차 감소하였다. ABA sensitivity와 수발아율 간에는 정의 상관을 나타내어 ABA sensitivity를 간이 수발아 검정법으로 활용 가능할 것으로 보였다.

인용문헌

American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. The Association: St. Paul, MN. USA.

Bayer, A. C. 1987. Pre-harvest sprouting. Annu. Wheat Newsl. 33 : 40.

Belderok, B. 1968. Seed dormancy problem in cereals. Field Crop Abstract 21 : 203-211.

Benech-Arnold, R. L., M. C. Giallorenzi, J. Frank, and V. Rodriguez. 1999. Termination of hull-imposed dormancy in developing barley grains is correlated with changes in embryonic ABA levels and sensitivity. Seed Science Research 9 : 39-47.

Clarke, M. P., M. J. Gooding, and S. A. Jones. 2004. The effects of irrigation, nitrogen fertilizer and grain size on Hagberg falling number, specific weight and blackpoint of winter wheat. J. Sci. Food Agric. 84 : 227-236.

Daniel, R. K., J. G. Mike, and H. E. Richard. 2005. Nitrogen fertilizer and seed rate effects on Hagberg falling number of hybrid wheats and their parents are associated with *a* -amylase activity, grain cavity size and dormancy. J. Sci. Food Agric. 85(5) : 727-742.

Detje, H. 2008. Effects of Varying Nitrogen Rates on Pre-Harvest Sprouting and α-Amylase Activity in Cereals. J. Agronomy & Crop Sci. 169(1-2) : 38-45.

Finch-Savage, W. E. and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New Phytolog. 171 : 501-523.

Garello, G. and M. T. Le Page-Degivry. 1999. Evidence for the role of abscisic acid in the genetic and environmental control of dormancy in wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed Science Research 9 : 219-226.

Gooding, M. J., P. S. Kettlewell, W. P. Davies, and T. J. Hocking. 1986. Effects of spring nitrogen fertilizer on the Hagberg falling number of grain from breadmaking varieties of winter wheat. J. Agric. Sci., UK 107(2) : 475-477.

Huang, G. and E. Varriano-Marston. 1980. Alpha-Amylase activity and preharvest sprouting damage in Kansas hard white wheat. J. Agric Food Chem. 28(3) : 509-512.

Kawakami, N., Y. Miyake, and K. Noda. 1997. ABA insensitivity and low ABA levels during seed development of non-dormant wheat mutants. Journal of Experimental Botany 48 : 1415-1421.

Le Gouis, J., D. Beghin, E. Heumez and P. D. Pluchard. 2002. Analysis of winter wheat at two nitrogen levels. Crop Sci. 42 : 1129-1134.

Leymarie, J., M. E. Robayo-Romero, E. Gendreau, R. L. Benech-Arnold, and F. Corbineau. 2008. Involvement of ABA in induction of secondary dormancy in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds. Plant and Cell Physiology 49 : 1830-1838.

Lila B. and B. Nambisan. 1992. Influence of plant growth regulators and chemicals on sprouting. Annual Report of CTCRI. p. 43-44.

Morris, C. F. and G. M. Paulsen. 1985. Preharvest sprouting of hard winter wheat as affected by nitrogen nutrition. Crop Sci. 25(6) : 1028-1031.

Morris C. F., J. M. Moffatt, R. G. Sears, and G. M. Paulsen. 1989. Seed dormancy and responses of caryopses, embryos, and calli to abscisic acid in wheat. Plant Physiology 90 : 643-647.

Nakatsu, S., Y. Watanabe, and S. Okumura. 1999. Effects of Nitrogen Fertilization and Pre-Harvest Rainfall on Grain Quality of Wheat(Triticum aestivum L.). Jap. J. Soil Sci. and Plant Nut. 70(4) : 514-520.

Nielsen, M. T., A. J. McCrate, E. G. Heyne, and G. M. Paulsen. 1984. Effect of weather variables during

maturation on preharvest sprouting of hard white wheat. Crop Science 24(4) : 779-782.

Singh, R., M. Maria Matus-Cadiz, M. Baga, P. Hucl, and R. N. Chibbar. 2008. Comparison of different methods for phenotyping preharvest sprouting in white-grained wheat. Cereal chemistry 85(2) : 238-242.

Trethowan, R. M. 1995. Evaluation and selection of bread wheat(*Triticum aestivum* L.) for preharvest sprouting tolerance. Australian J. Agric. Research 46(3) : 463-474

Walker-Simmons, M. K. 1987. ABA levels and sensitivity in developing wheat embryos of sprouting resistant and susceptible cultivars. Plant Physiology 84 : 61-66.