

등숙온도가 콩의 품질 및 수분흡수 특성에 미치는 영향

정건호* · 권영업* · 이재은* · 김윤희* · 김대욱* · 손범영* · 김정태* · 이진석* · 신성휴* ·
백성범* · 이병무** · 정일민*** · 김선림[†]

*농촌진흥청 국립식량과학원, **동국대학교 바이오시스템대학 생명과학과, ***건국대학교 생명환경과학대학 응용생물과학과

Influence of Seed-filling Temperature on the Seed Quality and Water Soaking Properties of Soybean

Gun-Ho Jung*, Young-Up Kwon*, Jae-Eun Lee*, Yul-Ho Kim*, Dae-Wook Kim*, Beom-Young Son*, Jung-Tae Kim*,
Jin-Seok Lee*, Seong-Hyu Shin*, Seong-Bum Baek*, Byung-Moo Lee**, Ill-Min Chung***, and Sun-Lim Kim[†]

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

**Department of Plant Biotechnology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

***Department of Molecular Biotechnology, KonKuk University, Seoul 143-701, Korea

ABSTRACT Korean soybean varieties, ‘Seonyu’ and ‘Hwangkeum’ were planted in 2012, and three temperature gradient, $T_c(19.8\text{ }^\circ\text{C}$, ambient temperature), $T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$, and $T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$, were artificially created by controlling the green house system during seed filling period. Mature seeds that developed under these conditions were analyzed for variances in physicochemical properties. The 100-seed weight and seed-coat ratio of soybean were decreased, but small seed rate was increased by high temperature during seed filling period. Protein content was increased, but oil content was decreased significantly with increasing the seed filling temperature. The decrement of carbon to nitrogen ratio (C/N), and the increment of monosaccharide, fructose and sucrose, in seeds explained that carbohydrate assimilation during seed filling was restricted by high temperature. Rapid increments of seed volume and weight were observed in the seeds of high seed filling temperature, but as soaking time increased the highest values were observed in the seeds of ambient seed filling temperature. The 100-seed weight and seed-coat ratio of soybean were closely related not only to the increment of soaking volume and weight, but also the increments of total dissolved solids (TDS) and electro conductivity (EC). Whereas protein content and C/N ratio showed less relationship with the soaking properties, but they had a positive correlation with TDS and EC. From the results, it was considered that high values of TDS and EC in the seeds of high temperature were mainly due to the

incomplete conversion of assimilates into storage compounds. However, sugar content showed less influence on the soaking properties and the values of TDS and EC.

Keywords : soybean, seed filling, high temperature, soaking properties, TDS, EC

최근 지구온난화현상으로 고온환경이 작물의 생산성에 미치는 영향에 대한 관심이 높아졌다. 현재 지구에서 대기로부터 방출되는 CO₂ 양의 증가속도로 볼 때 2050년에는 370 ~ 550 ppm에 달하고, 2100에는 7300 ~ 1010 ppm까지 높아질 뿐만 아니라(Solomon *et al.*, 2007), 온실효과가 심화되어 지구표면의 온도는 현재보다 약 1.4 ~ 5.8°C 상승될 것으로 예상하고 있다(Houghton *et al.*, 2001). 우리나라의 경우 지난 100년간(1912 ~ 2008) 평균기온이 약 1.7°C 상승되었을 뿐만 아니라 여름은 약 13 ~ 17일 길어지고 겨울은 22 ~ 49일 단축되었으며 무상기일은 2.7일(1973 ~ 1990)에서 15.7일(1991 ~ 2007)로 증가되었다고 한다(Kang *et al.*, 2011). 콩의 종실수량은 건물생산성에 비해 고온에 민감하게 반응하는 형질로서 생식생장기의 고온환경은 화분립의 형성이나 수정에 피해를 주어 공협이 다량 발생하고, SFD (seed filling duration) 및 SFR(seed filling rate)에 영향을 미치는데, 고온이 SFR을 증진시키기도 하지만 SFD를 단축

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6764 (E-mail) kimsl@korea.kr

<Received 24 June, 2013; Revised 11 August, 2013; Accepted 12 August, 2013>

시켜 수량감소를 초래한다고 한다(Thuzar *et al.*, 2010). 콩의 등숙기에 고온이 수량에 미치는 영향을 검토한 많은 연구결과가 보고되었는데, 등숙기 23°C ~ 26°C로 처리시 온도가 높을수록 종실중이 감소되고(Mochizuki *et al.*, 2005), 25°C ~ 30°C의 고온은 1립중을 감소시키며(Zheng *et al.*, 2002), 30.5°C ~ 32.5°C의 고온은 처리시기에 관계없이 종실중을 감소시킨다고 한다(Gibson & Mullen, 1996). Custodio *et al.*(2012)은 기후변화에 따른 등숙기 고온이 콩의 생산성에 미치는 영향을 검토한 결과 SGR(seed growth rate)이 감소되고 EFP(effective seed-filling period)가 길어져 종실의 세포수가 감소되어 종실이 작아지고 결과적으로 1립중이 감소되었다고 하였다.

등숙기 고온은 콩의 수량뿐만 아니라 품질에도 영향을 미치는데, 단백질 및 조지방 함량을 증가시키고, 지방산의 조성(Gibson & Mullen, 1996; Wolf *et al.*, 1982) 뿐만 아니라 isoflavone 함량에도 영향을 미친다고 한다(Jung *et al.*, 2012; Lozovaya *et al.*, 2005; Tsukamoto *et al.*, 1995).

기후변화로 세계 주요 곡물생산국의 생산량이 격감하여 식량자원 부족현상에 따른 식량수급이 불안정과 가격상승이 가속화 되고 있다. 따라서 세계 각국에서는 기온상승에 따른 식량작물의 생육반응 및 생산성에 미치는 영향을 평가하여 앞으로 다가올 대규모 식량난에 적극 대응하고자 국가 단위의 식량안보 대책을 수립하고, 이와 관련한 연구들을 활발히 추진하고 있다. 그러나 지금까지 콩을 대상으로 기후변화와 관련하여 이루어진 연구들은 주로 수량성이나 단백질 및 지방함량 등에 미치는 영향 평가에 집중되었으나, 이와 같은 변동 요인들이 콩의 가공특성에 미치는 영향을 검토한 연구결과가 그리 많지는 않다. 따라서 본 연구는 콩의 등숙기 고온환경이 종실 및 이화학특성에 미친 영향을 검토하고 가공특성의 기초가 되는 흡수특성을 대상으로 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

등숙온도

본 시험은 2012년 6월 25일 농촌진흥청 국립식량과학원 발작물 시험연구포장(수원)에서 장류용인 중만생종 품종인 선유콩과 황금콩을 70cm × 15cm의 재식거리로 파종하여 수행하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O-퇴비를 10a당 3-3-3.4-1,000 kg을 전량기비로 사용하였고, 기타 재배관리는 농촌진흥청 시험연구 조사기준(농진청, 2003)에 준하였다.

개화후 등숙온도 조절을 위해 노지재배를 대조구(Tc)로 설정하고, 비닐하우스의 온도를 Tc+1.7°C 및 Tc+2.5°C 2수

준으로 처리를 하였는데, 하우스의 개폐정도로 시험구의 온도를 조절하였고, 온도기록계(TR-72U, T&R crop., Japan)를 설치하여 시험기간 중의 온도변화를 관찰하였다. 등숙온도를 달리하여 수확된 콩은 백립중, 종실의 크기 분포 및 종피율을 측정하여 종실의 발달특성을 검토하였다.

당, 단백질, 지방 함량 및 C/N율 분석

콩 종실의 성분분석을 위하여 선유콩과 황금콩을 1.0mm 체를 장착한 시험용 분쇄기(Brabender, Germany)로 분쇄하였다. 당 함량의 분석은 80% ethanol로 추출한 시료를 Waters 410 RID와 YMC-Pack Polyamine II column(250 × 4.6 mm, 5 μm)을 사용하여 분석하였다. 단백질의 분석은 Kjeldahl분석법에 따라 단백질 자동분석기(Kjeltec 2400 auto analyzer, Foss Tecator, Sweden)로, 지방 함량은 조지방 자동분석기(Gerhardt Soxtherm 2000, Germany)로 각각 분석을 하였고, 총 탄소 및 총 질소 함량은 원소분석기(Elementar Vario Micro, Germany)로 분석하여 C/N율을 산출하였다.

흡수특성

등숙온도를 달리하여 수확된 선유콩 및 황금콩을 각각 10 g 씩 정확히 저울에 달아 100 mL의 증류수에 넣고 상온에서 12시간 동안 침지시키면서 매시간 마다 콩을 꺼내 표면수를 제거하고 무게와 부피의 변화를 측정하였다. 흡수시간 경과에 따른 종실 무게의 증가율(%)은 시료 10 g의 침지전과 t 시간 경과 후 무게의 차이로 계산하였다. 침지에 따른 부피의 변화는 침지중인 10 g의 콩을 꺼내 표면수를 제거하고 50 ml의 증류수로 부피를 맞춘 100 ml 메스실린더에 넣고 흡수에 따른 부피의 변화를 측정된 뒤 침지전과 침지후의 부피의 차이로 부피증가율을 계산하였으며 3반복 시험을 하여 평균값을 구하였다.

총용출고형물(TDS) 및 전도도(EC)의 측정

선유콩과 황금콩 10 g에 100 mL의 초순수를 가하고 상온에서 12시간 동안 침지시키면서 매시간 마다 EC meter (Senz μSiemen, Trans Instruments, Singapore)와 TDS meter(Eco TDS, Trans Instruments, Singapore)를 이용하여 용출액의 전도도(electrical conductivity) 및 총용출고형물(total dissolved solids, ppm)을 각각 3반복으로 측정하고, 콩 10 g에 대한 TDS ppm 및 EC μScm⁻¹로 나타내었다.

통계분석

본 시험을 통하여 얻어진 결과는 SAS 프로그램(Statistical Analysis Systems Institute Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용

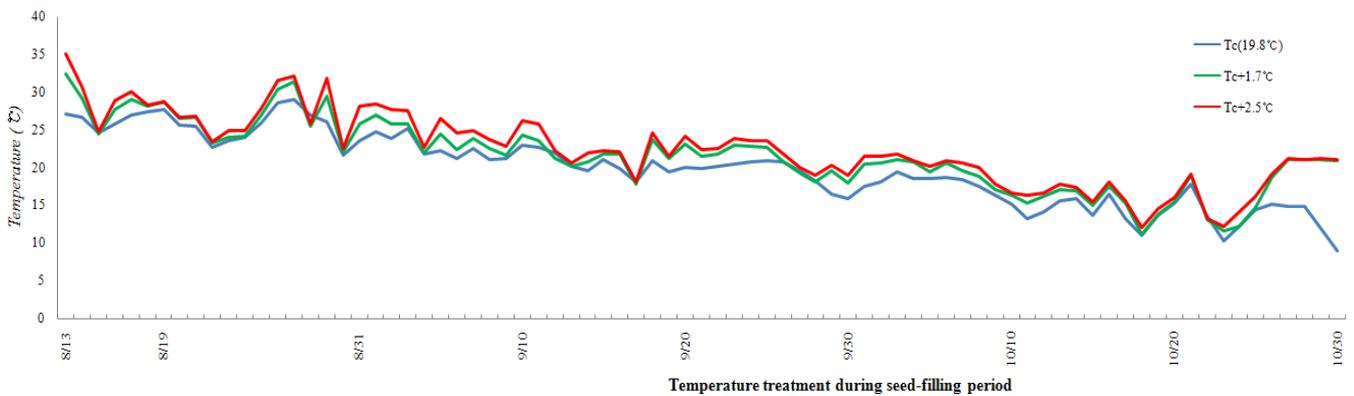
하여 측정된 변수들에 대한 Duncan의 다중검정(Duncan multiple range test) 및 상관분석을 하였다.

결과 및 고찰

등숙기간 온도변화 개요

Fig. 1은 본 시험을 실시한 2012년 시험품종인 선유콩과 황금콩의 개화기 이후 노지재배인 대조구(T_c)와 등숙온도를 인위적으로 조절한 비닐하우스($T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$, $T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$)의 평균온도 변화를 나타낸 것이다. 등숙온도 처리를 시작한 8

월 13일부터 콩을 수확한 10월 30일까지 일평균 기온을 살펴보면 대조구의 평균기온은 약 $19.8\text{ }^\circ\text{C}$ 였고, 등숙온도를 조절한 $T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구의 평균기온은 $21.6\text{ }^\circ\text{C}$, $T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구의 평균기온은 $22.5\text{ }^\circ\text{C}$ 로서 대조구에 비해 각각 $1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 및 $2.5\text{ }^\circ\text{C}$ 평균기온이 높은 것으로 나타났다. 각 온도처리구별 적산온도를 살펴볼 때 T_c 는 $1,565.0\text{ }^\circ\text{C}$ 였고, $T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구는 $1,704.6\text{ }^\circ\text{C}$, $T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구는 $1,815.9\text{ }^\circ\text{C}$ 로서 대조구에 비해 각각 $139.6\text{ }^\circ\text{C}$ 및 $250.9\text{ }^\circ\text{C}$ 가 높았으며, $T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구와 $T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$ 처리구간의 적산온도는 약 $111.3\text{ }^\circ\text{C}$ 의 차이를 보였다.



Temperature (°C)	T_c (19.8 °C)	$T_c + 1.7\text{ }^\circ\text{C}$	$T_c + 2.5\text{ }^\circ\text{C}$
Mean temperature			
Seed-filling period	19.8 ± 4.8	21.6 ± 4.7	22.5 ± 4.8
- August (13 ~ 31)	25.7 ± 2.0	27.2 ± 2.8	28.1 ± 3.3
- September	20.8 ± 2.1	22.1 ± 2.3	23.2 ± 2.6
- October	15.1 ± 2.7	17.5 ± 3.1	18.1 ± 3.0
Accumulated temperature			
August 13 ~ October 30	1,565.0	1,704.6	1,815.9

Fig. 1. Daily changes in the mean air temperature and accumulated temperature under different seed filling temperatures in 2012.

Table 1. The response of the 100-seed weight and seed size distribution for soybean varieties ‘Seonyu’ and ‘Hwangkeum’ under different temperatures during seed filling.

Soybean varieties	Temperature (°C)	100-seed weight (g)	Seed size distribution (%)			
			5.6 mm >	5.6~6.7 mm	6.7~7.93 mm	7.93 mm <
Seonyu	T_c (19.8 °C)	30.8 b	10.9 b [†]	0.9 b	47.8 c	40.3 a
	$T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$	31.1 a	2.4 c	1.1 b	60.9 a	35.6 b
	$T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$	30.7 b	14.1 a	2.3 a	52.5 b	31.0 c
Hwangkeum	T_c (19.8 °C)	26.7 a	13.9 b	6.1 c	80.0 a	-
	$T_c+1.7\text{ }^\circ\text{C}$	25.1 b	5.2 c	17.7 b	77.1 b	-
	$T_c+2.5\text{ }^\circ\text{C}$	23.1 c	18.4 a	33.6 a	48.0 b	-

[†]Same letters in a column are not significantly difference at the 0.05 probability level.

백립종, 종실크기 분포 및 종피율

Table 1은 등숙기 고온처리에 따른 선유콩과 황금콩의 백립종과 종실크기의 분포를 측정하여 등숙온도의 차이가 종실발달에 미치는 영향을 검토한 결과를 나타낸 것이다. 백립종을 살펴볼 때 선유콩과 황금콩의 반응이 서로 달랐는데, 선유콩의 경우 $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구가 대조구 및 $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구보다 백립종이 유의하게 높았고, 황금콩은 등숙온도가 높아질수록 백립종이 유의하게 감소되었다. 이와 같은 결과는 등숙기 주/야간 온도가 $26/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 이상의 고온에서는 수량이 감소된다는 기존의 연구결과와 일치하는 것으로 나타났다(Huxley *et al.*, 1976; Jung *et al.*, 2012; Sionit *et al.*, 1987).

종실크기의 분포비율은 선유콩과 황금콩의 반응이 달랐는데, 선유콩은 5.6 mm 미만부터 7.93 mm 이상 크기의 종실로 구성되어 있었으나, 황금콩은 7.93 mm 이상으로 발달된 종실이 없어 품종간의 차이가 뚜렷하였다. 등숙온도별 종실크기의 분포특성을 살펴볼 때 온도처리간 뚜렷한 차이를 보였는데, 시험품종 모두 등숙온도가 높을수록 대립종의

비율이 유의하게 감소되는 것으로 나타났다. 선유콩은 6.7 mm 이상의 종실이 대조구가 88.1%였고, $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 96.5%, $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 83.5%였으나 7.93 mm 이상의 대립종 비율은 대조구가 40.3%로 가장 높았다. 황금콩은 5.6 mm 이상의 종실이 대조구가 86.1%, $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 94.8%, $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 81.6%였으나 6.7 mm 이상의 대립종 비율은 대조구가 80.3%, $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 77.1%, $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 48.0%였다. 따라서 등숙기 고온은 백립종 뿐만 아니라 대립종의 비율을 유의하게 감소시킬 수 있었다.

Fig. 2는 등숙기 고온처리에 따른 시험품종의 종피율을 검토한 결과이다. 선유콩은 대조구에 비해 $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구의 종피율이 다소 높았으나 $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구에서는 오히려 감소되었고, 황금콩은 등숙온도가 높을수록 종피율이 유의하게 감소되어 온도처리에 따른 콩의 종피율에는 품종간 차이를 보였지만, 종합적인 관점에서 고찰해볼 때 등숙기 전반에 걸친 지속적인 고온은 콩의 종피율을 감소시키는 것으로 판단되었다.

콩은 타작물에 비해 비교적 장기간에 걸쳐 파종이 가능지만 파종시기에 따른 생육온도의 영향으로 수량구성요소 및 수량에 많은 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 특히 등숙기 고온스트레스는 수정능력을 저하시켜 착립율이 낮아지고(Duthion & Pigeaire, 1991), 종실의 세포수 감소 및 세포신장 억제를 초래하여 종실중이 감소된다고 한다(Munier-Jolain & Ney, 1998). Jung *et al.*(2012)은 중만생종인 대원콩을 대상으로 실시한 시험에서 파종시기별 등숙온도에 따라 다양한 반응을 보여 대조구보다 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온에서는 종실의 크기가 유의하게 감소된다고 하였고, Thomas *et al.*(2003)은 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온은 콩의 개화를 지연시키고, $30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 고온은 종실발달을 억제시킨다고 하였는데, 본 시험의 결과도 이들의 보고와 일치하는 것으로 나타났다.

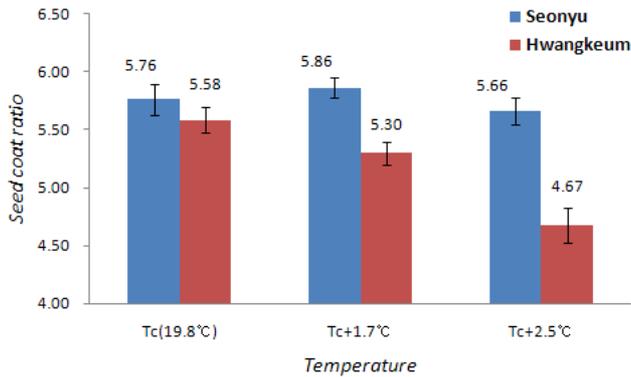


Fig. 2. Variation in the seed coat ratio of soybean varieties ‘Seonyu’ and ‘Hwangkeum’ under different temperatures during seed filling.

Table 2. The response of carbon/nitrogen ratio, protein and oil contents for soybean varieties ‘Seonyu’ and ‘Hwangkeum’ under different temperatures during seed filling.

Soybean varieties	Seed-filling Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	C/N ratio	Protein (%)	Oil (%)
Seonyu	$Tc(19.8\text{ }^{\circ}\text{C})$	48.3 a [†]	6.3 c	7.7 a	39.2 c	18.2 a
	$Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$	48.6 a	6.5 b	7.5 b	40.8 b	18.1 a
	$Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	48.4 a	6.8 a	7.2 c	42.3 a	17.7 b
Hwangkeum	$Tc(19.8\text{ }^{\circ}\text{C})$	47.6 b	5.9 b	8.0 a	37.1 b	18.1 a
	$Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$	48.3 a	6.0 b	8.1 a	37.2 b	18.0 a
	$Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	48.7 a	6.3 a	7.8 b	39.2 a	17.7 b

[†]Same letters in a column are not significantly difference at the 0.05 probability level.

Table 3. The response of total sugar content and their composition for soybean varieties ‘Seonyu’ and ‘Hwangkeum’ under different temperatures during seed filling.

Soybean varieties	Seed-filling Temp. (°C)	Sugar content (%)	Sugar composition (%)			
			Fructose	Sucrose	Raffinose	Stachyose
Seonyu	<i>T_c</i> (19.8 °C)	12.9 a [†]	8.2 bc	59.8 b	3.3 a	28.7 b
	<i>T_c+1.7 °C</i>	12.3 a	8.4 b	59.1 b	0.9 b	31.6 a
	<i>T_c+2.5 °C</i>	12.9 a	9.4 a	60.8 a	0.9 b	28.9 b
Hwangkeum	<i>T_c</i> (19.8 °C)	11.8 b	10.1 c	55.7 bc	3.3 a	30.9 ab
	<i>T_c+1.7 °C</i>	11.6 b	11.4 b	56.5 b	0.3 b	31.8 a
	<i>T_c+2.5 °C</i>	13.1 a	12.1 a	58.3 a	0.3 b	29.3 b

[†]Same letters in a column are not significantly difference at the 0.05 probability level.

종실 성분의 변화

Table 2는 개화기 이후 등숙온도를 달리하였을 때 선유콩과 황금콩의 탄소/질소 비율(C/N ratio), 단백질 및 지방 함량의 변화를 나타낸 것이고, Table 3는 당 함량과 이들의 조성비를 각각 나타낸 것이다. Table 2에서 보는바와 같이 콩의 총 탄소 함량과 질소 함량은 등숙온도가 높을수록 증가되는 경향이었으나 C/N율은 등숙온도가 높을수록 유의하게 감소되는 것으로 나타났다. 단백질 함량도 등숙온도가 높을수록 유의하게 증가하였으나, 지방 함량은 유의하게 감소됨을 알 수 있었다. 콩의 단백질과 지방 함량은 재배환경에 다양하게 반응하는 것으로 알려져 있다. Howell & Cartter (1958)는 등숙기에 일주일간 일시적으로 고온으로 처리하였을 때 종실의 지방함량은 증가되나 단백질과 비단백질 질소(nonprotein nitrogen)의 함량은 차이가 없었다고 보고한 반면, Wolf *et al.*(1982)은 등숙기 지속적인 고온은 콩의 단백질 및 지방 함량을 증가시켰다고 하였다. 본 시험은 콩의 개화기 이후 등숙기 전반에 걸쳐 고온으로 처리하여 얻어진 결과로서 Wolf *et al.*(1982)의 보고와 일치하여 등숙기 고온의 지속기간은 단백질 및 지방 함량에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

등숙온도에 따른 콩의 당 함량은 품종간의 반응이 상이하였는데, 선유콩은 처리온도간 차이가 없었으나, 황금콩은 *T_c+2.5 °C* 처리구가 대조구 및 *T_c+1.7 °C* 처리구에 비해 통계적으로 유의하게 당 함량이 높았다. 본 시험에 사용된 시험품종의 당 조성은 sucrose>stachyose>fructose>raffinose의 순으로 높았으며, 등숙온도에 따른 당의 조성비에 뚜렷한 차이를 보였다. 단당류인 fructose와 이당류인 sucrose는 등숙온도가 높을수록 조성비가 유의하게 증가하였으나 올리고당류인 raffinose와 stachyose는 등숙온도가 높을수록 조성비가 유의하게 감소되었다. 따라서 등숙온도가 높으면 종실의 당 함량이 증가하고 단당류와 이당류의 비율이 증가

되는 반면 올리고당류가 감소되었는데, 특히 3당류인 raffinose가 현저히 감소됨을 알 수 있었다(Table 3).

침지에 따른 부피 및 무게의 변화

Fig. 3은 침지시간 경과에 따른 종실부피 및 무게의 변화를 백분율(%)로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 개화기 이후 등숙온도를 달리하여 수확된 콩을 일정시간 침지시켰을 때 시간의 경과에 따른 종실부피 및 무게의 증가율은 품종 및 처리온도에 따라 반응이 다르게 나타났다. 침지시간 경과에 따른 부피의 변화를 살펴볼 때, 시험품종은 침지시간이 경과함에 따라 부피가 지속적으로 증가되었고, 침지 초기에 수분흡수가 빠르게 이루어지면서 침지전 콩의 부피와 같은 양의 물을 흡수하는데 선유콩은 약 4시간, 황금콩은 약 5시간이 소요되어 흡수속도에 품종간 차이를 보였다. 처리온도에 따른 콩의 부피증가율은 품종간 차이가 뚜렷하였는데, 선유콩은 침지 5시간 이후부터 처리온도간 차이를 보여 대조구는 *T_c+1.7 °C* 및 *T_c+2.5 °C* 처리구에 비해 부피증가율이 높았다(Fig. 3(a)). 황금콩은 침지처리 초기부터 부피증가율에 뚜렷한 차이를 보였는데, 등숙온도가 높은 *T_c+2.5 °C* 처리구의 부피증가율이 가장 낮았다(Fig. 3(b)).

침지에 따른 종실의 무게증가율은 부피증가율과는 그 양상이 달랐는데, 선유콩은 등숙온도가 높을수록 무게증가율이 높은 것으로 나타났으나(Fig. 3(c)), 황금콩은 무게증가율이 부피증가율과 경향이 비슷하여 *T_c+2.5 °C* 처리구의 무게증가율이 가장 낮았다(Fig. 3(d)). 침지에 따른 콩 무게의 증가속도는 부피증가 속도에 비해 다소 느리게 진행되었는데, 침지전 콩의 무게와 같은 양의 물을 흡수하는데 소요된 시간이 선유콩은 약 6~7시간, 황금콩은 약 10시간 이상으로 나타나 품종에 따른 차이가 있었다.

Fig. 3(e) ~ (f)는 침지시간 경과에 따른 부피증가율과 무게증가율과의 관계를 나타낸 것이다. 앞서 논의한 바와 같

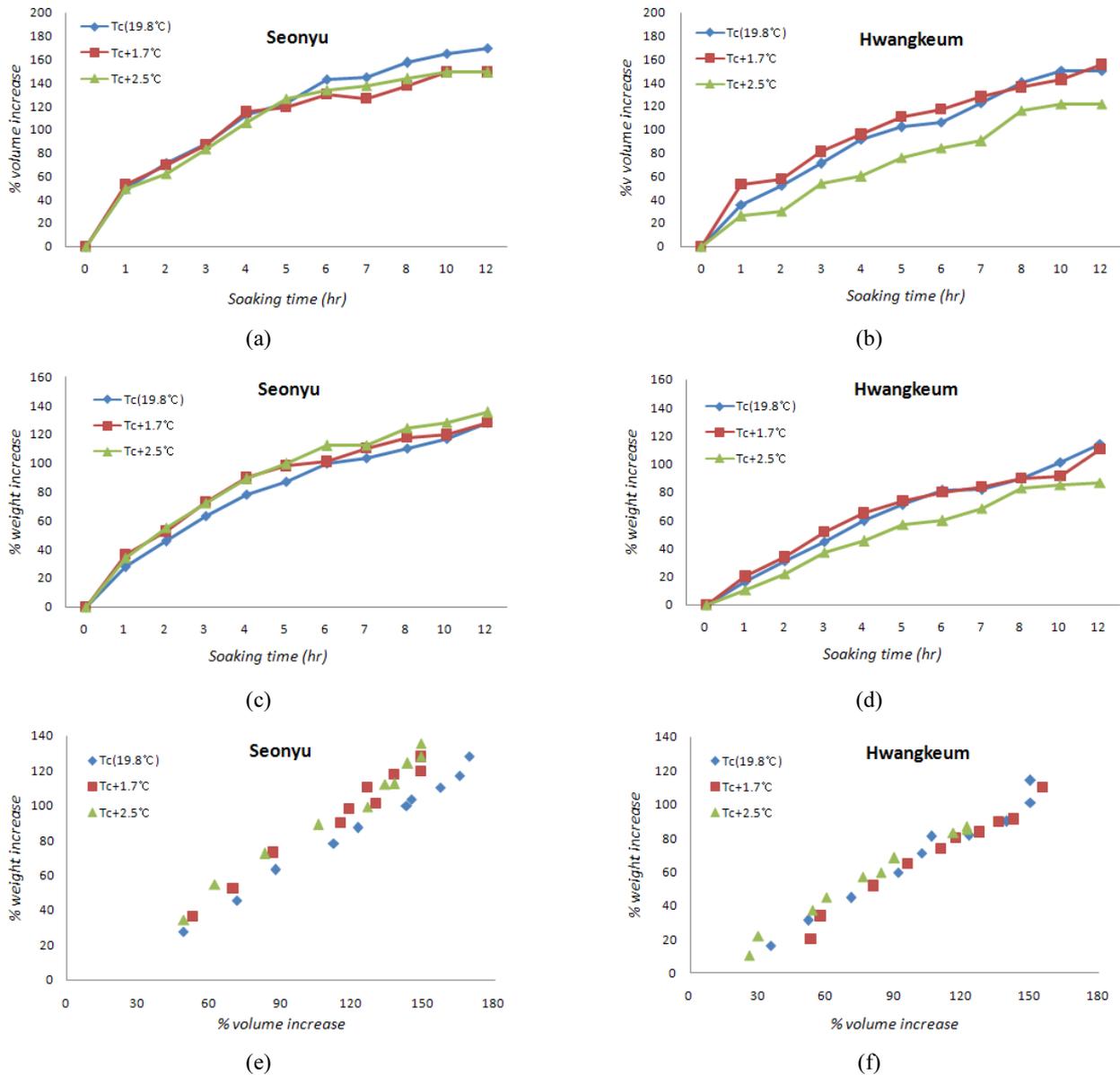


Fig. 3. Changes in volume and weight of soybeans during soaking.

이 침지시간이 경과에 따른 흡수특성은 품종 및 처리온도간 반응이 각각 달라 등숙온도가 종실의 발달에 미친 영향을 설명하기가 쉽지 않았으나, 흡수에 따른 종실의 부피증가율과 무게증가율과의 관계를 검토하여본 결과 처리온도에 따른 흡수특성에 비교적 뚜렷한 차이를 알 수 있었다. 얻어진 결과로 볼 때 고온에서 등숙된 콩은 침지초기에 부피 및 무게의 증가가 비교적 빠르게 이루어지지만 침지시간이 경과됨에 따라 대조구에 비해 부피 및 무게증가율이 모두 낮게 나타났고, 품종별로 볼 때 선유콩은 황금콩보다 침지에 따른 부피증가율 및 무게증가율이 상대적으로 높게 나타났다.

콩으로 식품을 조리 및 가공을 할 때 콩의 수분함량을 높

여 조직을 연화시키기 위해 침지하게 되는데, 콩의 흡수특성은 가공특성에 영향을 미치는 중요한 물리적 요인이 된다. 콩의 수화속도는 종실의 크기뿐만 아니라 표피조직의 세공, 표면적 및 종실에 함유된 성분 등에 영향을 받는다고 한다. 일반적으로 침지수의 온도가 높을수록 흡수속도가 빨라지지만 흡수속도가 상대적으로 느린 콩은 종피에 칼슘(Ca)과 조섬유의 함량이 높고(Saio, 1976), 단백질함량은 흡수에 미치는 영향이 비교적 낮다고 한다(Hsu *et al.*, 1983). 콩을 침지할 때 흡수에 따른 주요 변화로는 무게 및 부피의 증가와 수용성물질의 손실이다.

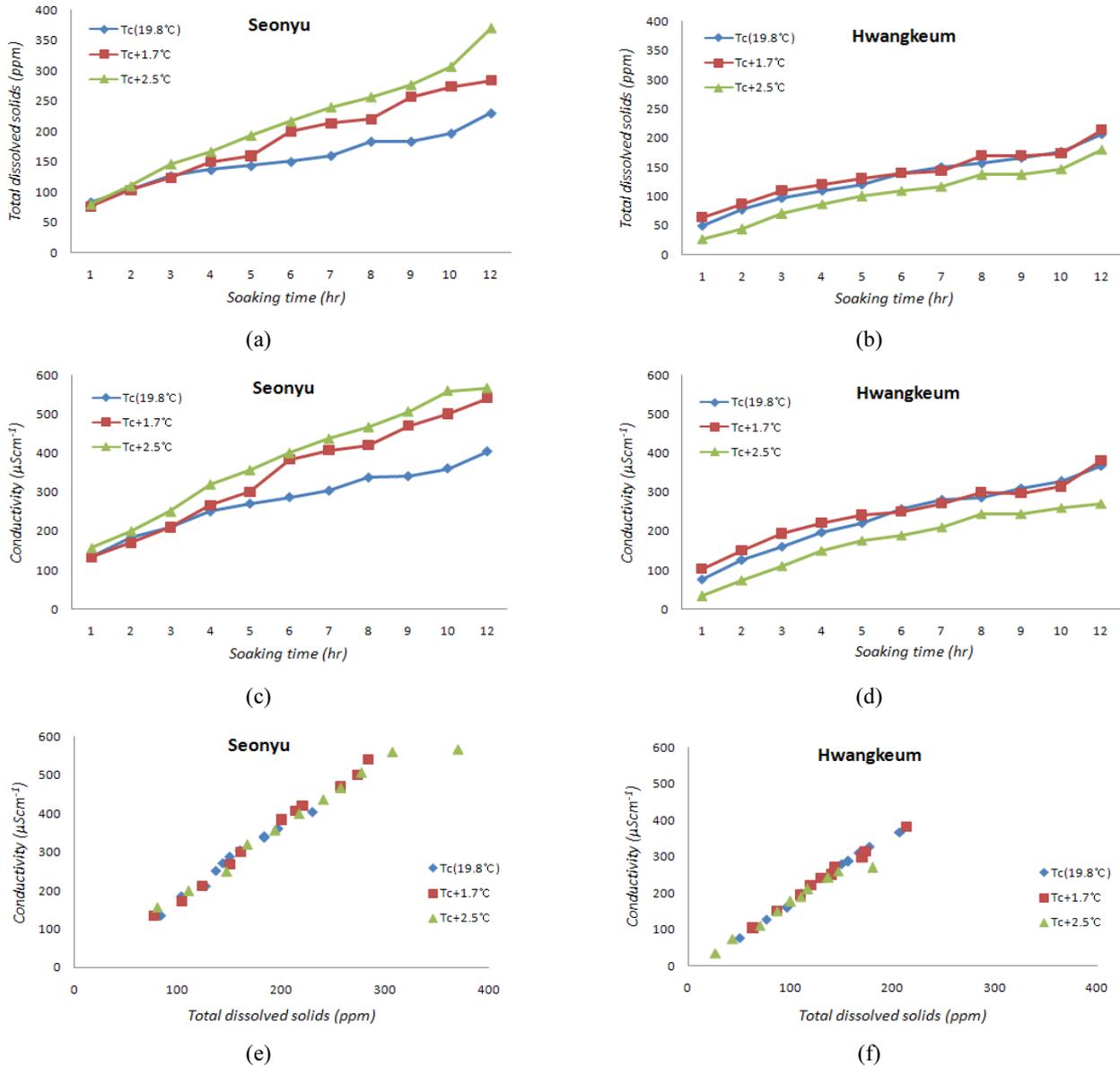


Fig. 4. Changes in total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) of soybeans during soaking.

침지에 따른 EC 및 TDS 변화

Fig. 4는 선유콩과 황금콩의 침지시간 경과에 따른 용출액의 EC(electrical conductivity) 및 TDS(total dissolved solids)를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 개화기 이후 등숙 온도를 달리하여 수확한 콩을 침지시켰을 때 침지시간이 길어짐에 따라 용출액의 EC 및 TDS가 지속적으로 증가되었는데, 등숙온도로 볼 때 선유콩은 EC 및 TDS 모두 $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C} > Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C} > Tc$ 의 순으로 높았으나(Fig. 4(a), (c)) 황금콩은 EC 및 TDS 모두 $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C} > Tc > Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 순으로 나타나(Fig. 4(b), (d)) 품종간 반응이 상이하였다. Fig. 4(e) ~ (f)는 침지시간에 따른 TDS와 EC의 상호관계를 나

타낸 것이다. 얻어진 결과로 볼 때 시험품종은 모두 침지시간이 경과함에 따라 TDS와 EC가 수직적 관계로 증가됨을 알 수 있었다. 등숙온도별로 볼 때 선유콩은 고온에서 등숙된 콩이 대조구에 비해 침지에 따른 용출물의 TDS 및 EC가 상대적으로 낮았으나, 황금콩은 선유콩과는 반응이 달라 $Tc+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구는 Tc 및 $Tc+1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 처리구에 비해 TDS와 EC가 높은 것으로 나타났다. 용출액의 TDS와 EC를 품종간에 비교해볼 때 선유콩은 황금콩보다 TDS가 약 1.5배 많은 것으로 나타났으며, 이와 같은 차이는 가공특성에도 크게 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

일반적으로 TDS 농도는 용액내의 유기물과 무기물의 총

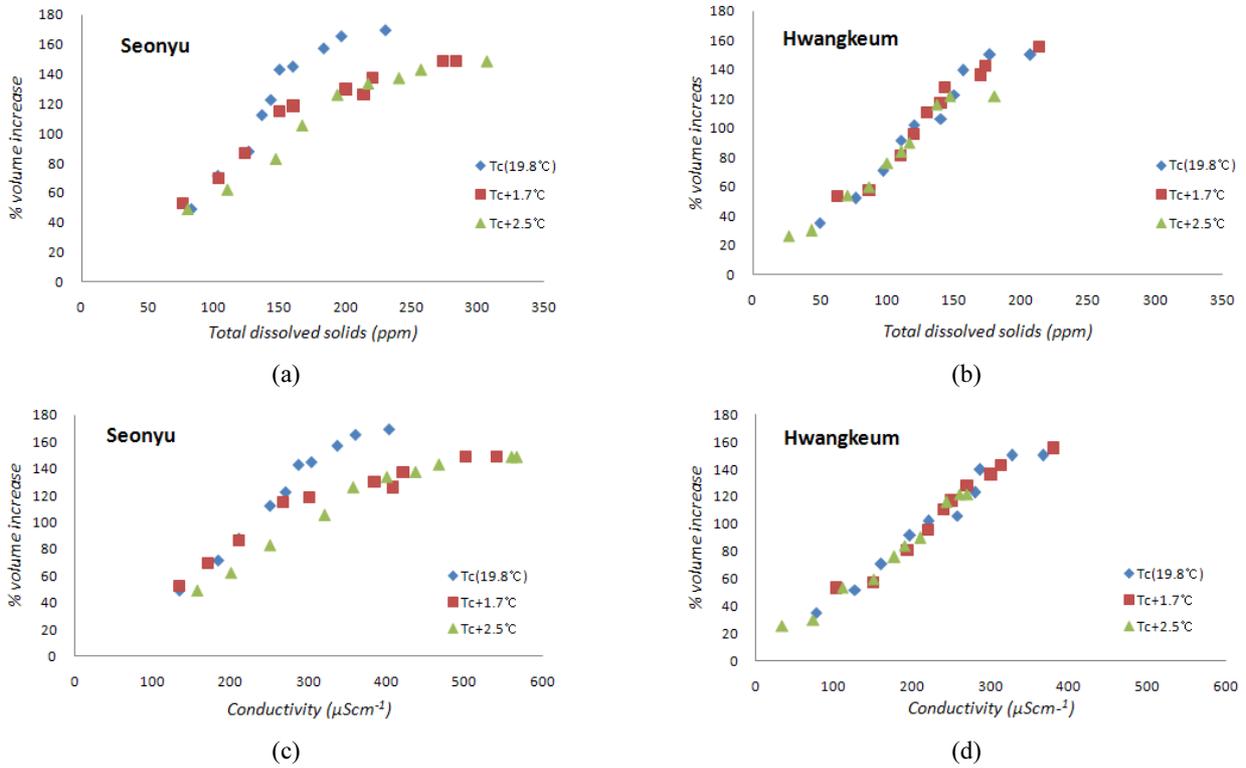


Fig. 5. Relationship of total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) with volume increment of soybeans during soaking.

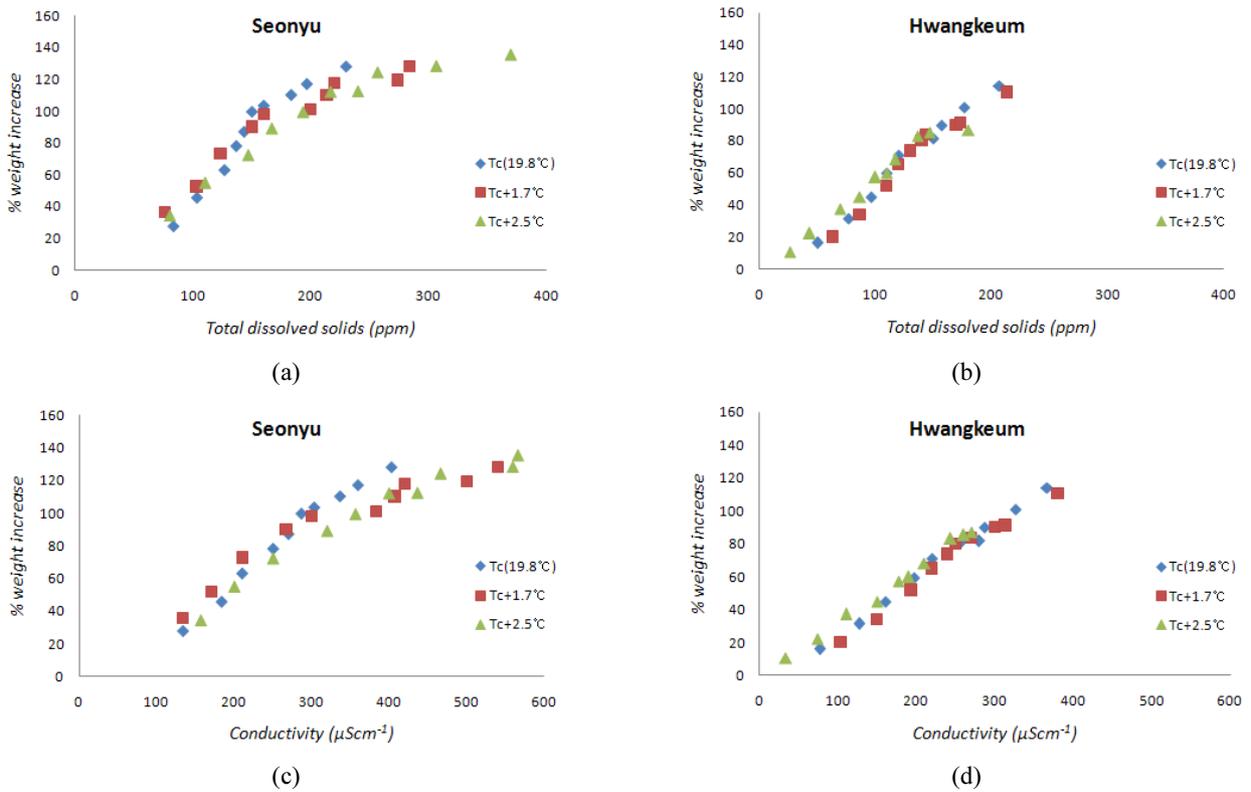


Fig. 6. Relationship of total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) with weight increment of soybeans during soaking.

량을 나타내는 것으로 용액속에 용해된 각종 미네랄, 염분, 금속 및 양이온과 음이온 등을 나타낸다. 따라서 TDS 측정기는 EC에 바탕을 두고 있으며, ppm 단위로 측정된 TDS 값은 EC 값의 약 0.5 ~ 1.0 배에 해당한다(Wikipedia, 2013).

콩을 침지할 때 세포막이 약하거나 손상된 경우 수분흡수가 상대적으로 빨라지고 전해질의 용출량이 증가되어 발아력 저하의 원인이 된다(Woodstock, 1988). EC로 종자활력을 측정하는 방법은 1928년 Hibbard & Miller(AOSA, 2002)가 처음으로 제안을 하였는데, 두과작물을 비롯한 여러 작물에서는 EC 측정법을 Association of Official Seed Analysis(AOSA)가 공인하는 종자활력 측정법으로 채택하고 있는데, 일반적으로 EC가 낮을수록 발아율이 높다고 한다. Panobianco *et al.*(1999)은 49종의 콩으로 EC를 측정한 결과 유전자형에 따른 변이가 있다고 하였다. Spears *et al.*(1997)은 콩의 등숙기 다양한 온도로 처리를 하여본 결과 R5(beginning of seed fill) ~ PM(physiological maturity)까지 고온은 발아력에 크게 영향을 미치지 않았으나, R5 ~ R8(harvest maturity)까지 지속된 고온은 종자의 발아력을 현저하게 저하시켰을 뿐만 아니라 종실의 EC가 현저히 높아진다고 하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 등숙온도를 달리하여 얻어진 콩을 침지시켰을 때 시간의 경과에 따른 용출액의 TDS 및 EC 측정값과 부피증가율 및 무게증가율과의 관계를 검토한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a) ~ (d)에서 보는 바와 같이 침지시간 경과에 따른 용출액의 TDS와 EC의 변화에 따른 종실 부피의 증가율은 시험품종 및 등숙온도 처리간 차이가 뚜렷하게 나타났다. 선유콩은 등숙온도가 높을수록 용출액의 TDS 및 EC 값이 높게 나타났으나 부피증가율은 대조구에 비해 현저히 낮았고, 황금콩은 등숙온도가 낮은 콩이 TDS 및 EC 값뿐만 아니라 부피증가율도 높은 것으로 나타나 선유콩과는 침지에 따른 반응이 달랐다. 또한 Fig. 6(a) ~ (d)에서 보는바와 같이 침지시간 경과에 따른 용출액의 TDS와 EC의 변화에 따른 종실 무게의 증가율도 시험품종 및 등숙온도 처리간 차이가 뚜렷하게 나타나 부피증가율과 매우 유사한 반응을 보였다. 특히 황금콩의

부피증가율 및 무게증가율은 선유콩과 비슷한 수준을 보였으나, TDS 및 EC 값이 선유콩의 2/3수준으로 나타났고 등숙온도에 따른 반응도 선유콩에 비해 다르게 나타난 것은 황금콩이 선유콩에 비해 등숙기 고온에 대해 더 민감하게 반응하였기 때문인 것으로 판단되었다.

따라서 얻어진 결과를 종합적으로 판단할 때 등숙기 전반에 걸친 고온은 동화물질들이 종실내 저장양분으로 전환을 억제시켜 결과적으로 동화물질들이 저장양분이 아닌 유리형태로 종실에 축적되었기 때문에 침지하였을 때 상대적으로 수용성이 높은 유리형 고형물질이 신속히 용출되면서 TDS가 높아지고, 결과적으로 EC도 높아진 것으로 판단되었다.

상관분석

Table 4는 등숙온도를 달리하여 수확된 콩을 침지하였을 때 12시간 경과후 측정된 콩의 부피증가율 및 무게증가율, 용출액의 TDS 및 EC에 영향을 미치는 요인을 검토하기 위하여 백립중, 종피율, 당 함량, C/N율, 단백질 및 지방 함량과의 관계를 살펴본 것이다. 침지 12시간 경과 후 부피증가율은 종피율 및 지방 함량과 유의한 정의 상관이 있었고, 무게증가율은 백립중 및 종피율과 유의수준 1%에서 높은 상관관계가 있었다. 고온에서 등숙된 콩은 대조구에 비해 부피증가율이 감소되었는데, 등숙기 고온은 백립중 및 종피율의 감소를 초래하여 흡수특성에도 영향을 미친 것으로 판단되었다. TDS와 EC는 백립중 및 단백질 함량과 유의한 정의 상관이 있었으나, C/N율과는 유의한 부의 상관이 있었다. 따라서 이상의 결과를 종합적으로 고찰해 볼 때 콩의 백립중과 종피율은 흡수특성뿐만 아니라 용출액의 TDS 및 EC에 중요한 영향을 미치는 형질임을 알 수 있었고, 단백질 함량 및 C/N율은 침지시 부피증가율 및 무게증가율에 미치는 영향이 상대적으로 적지만 TDS 및 EC의 변화에 영향을 미치는 형질인 것으로 판단되었다. 그러나 당 함량은 부피 및 무게증가율과 TDS 및 EC의 변화에 미치는 영향이 적은 것으로 판단되었다.

Table 4. Relationship among tested variables.

	100-seed weight	Seed coat ratio	Sugar content	C/N ratio	Protein content	Oil content
Soaking volume [†]	0.644	0.790*	-0.295	0.003	-0.089	0.739*
Soaking weight [†]	0.948**	0.937**	-0.006	-0.617	0.527	0.346
Total dissolved solids [†]	0.731*	0.579	0.245	-0.881**	0.843**	-0.274
Electric conductivity [†]	0.852**	0.778*	0.032	-0.776*	0.736*	-0.031

[†]Values represent the 12-hour soaking.

*, ** represent significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

적 요

콩의 수량은 건물생산성에 비해 고온에 민감하게 반응하는 하는 형질로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 등숙기 고온이 종실의 발달, 품질특성 및 수분흡수특성에 미치는 영향을 검토하기 위해 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 등숙온도가 높을수록 백립중은 감소되었는데, 황금콩은 선유콩에 비해 감소폭이 컸고, 등숙기 지속적인 고온은 종실비대를 억제시켜 소립종의 비율이 증가될 뿐만 아니라 종피율을 감소시키는 것으로 나타났다.
2. 등숙온도가 높을수록 지방 함량 및 C/N율이 감소되고, 단백질 및 총당 함량이 증가되었으나 당의 조성으로 볼 때 단당류와 이당류는 증가되고 올리고당류는 오히려 감소되는 것으로 나타나 고온은 동화물질의 축적을 억제시키는 것으로 판단되었다.
3. 고온에서 등숙된 콩은 침지초기에 부피 및 무게의 증가가 비교적 빠르게 이루어졌으나 침지시간이 경과됨에 따라 대조구에 비해 부피 및 무게증가율이 모두 낮게 나타났고, 황금콩은 선유콩에 비해 침지에 따른 부피증가율 및 무게증가율이 상대적으로 낮았다.
4. 콩의 백립중과 종피율은 침지에 따른 종실의 부피 및 무게증가율뿐만 아니라 용출액의 TDS와 EC에 영향을 미치는 주요 형질로 판단되었고, 단백질 함량과 C/N율은 TDS 및 EC와 유의한 상관을 보였으나, 당 함량은 부피증가율과 무게증가율뿐만 아니라 TDS 및 EC와 상관이 인정되지 않았다.
5. 따라서 등숙온도가 높을수록 종실에 동화물질의 축적이 불완전하게 이루어져 침지에 따른 가용성 고형물의 용출량이 많아지고, 결과적으로 TDS 및 EC가 높아지는 것으로 판단되었다.

인용문헌

Association of Official Seed Analysts. 2002. Seed Vigor Testing Handbook.

Custodio, R. P. T., T. Shiraiwa, K. Homma, E. Kumagai, and R. Sameshima. 2012. The response of soybean seed growth characteristics to increased temperature under near-field conditions in a temperature gradient chamber. *Field Crops Research*. 131 : 26~31.

Duthion, C., and A. Pigeaire. 1991. Seed Lengths corresponding to the final stage in seed abortion of three grain Legumes.

Crop Sci., 31 : 1579~1583.

Gibson, L. R. and R. E. Mullen. 1996. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. *Crop Sci.*, 36 : 1615-1619.

Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguier, P. J. Van Der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Report of the IPCC. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Howell, R. W. and J. L. Cartter. 1958. Physiological factors affecting composition of soybeans: ii. Response of oil and other constituents of soybeans to temperature under controlled conditions. *Agron. J.* 50 : 664-667.

Huxley, P. A., R. J. Summerfield, and P. Hughes. 1976. Growth and development of soybean CV-TK5 as affected by tropical day lengths, day/night temperatures and nitrogen nutrition. *Ann. Apply. Biol.*, 82 : 117-133.

Hsu, K. H., C. J. Kim, and L. A. Wilson. 1983. Factors affecting water uptake of soybean during soaking. *Cereal Chemistry*. 60(3) : 208-211.

Jung, G. H., J. E. Lee, Y. H. Kim, D. W. Kim, T. Y. Hwang, K. S. Lee, B. M. Lee, H. S. Kim, Y. U. Kwon, and S. L. Kim. 2012. Effect of planting date, temperature on plant growth, isoflavone content, and fatty acid composition of soybean. *Korean J. Crop Sci.* 57(4) : 373-383.

Kang, K. K., D. B. Lee, and Y. E. Na. 2011. *RDA Interrobang 17*. www.rda.go.kr.

Lozovaya V. V., A. V. Lygin, A. V. Ulanov, R. L. Nelson, J. Dayde, and J. M. Widhohn. 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Sci.* 45 : 1934-1940.

Mochizuki, A., T. Shiraiwa, H. Nakagawa, and T. Horie. 2005. The effect of temperature during the reproductive period on development of reproductive organs and the occurrence of delayed stem senescence in soybean. *Jpn. J. Crop Sci.* 74 : 339-343.

Munier-Jolain, N. G. and B. Ney. 1998. Seed growth rate in grain legumes II. Seed growth rate depends on cotyledon cell number. *J. Exp. Bot.* 49 : 1971-1976.

Panobianco, M., R. D. Vieira, F. C. Krzyzanowski, and J. B. Franca-neto. 1999. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content. *Seed Science and Technology*. 27(3) : 945-949.

Saio, K. 1976. Soybeans resistant to water absorption. *Cereal Foods World*. 21 : 168-173.

Sionit, N., B. R. Strain, and E. P. Flint. 1987. Interaction of temperature and CO₂ enrichment on soybean: Growth and dry matter partitioning. *Can. J. Plant Sci.* 67 : 59-67.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller. 2007. Technical summary. in Climate Change 2007: The Physical Science

- Basis. Contribution of working group I to the fourth annual report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 19-840.
- Spears J. F., D. M. Tekrony, and D. B. Egli. 1997. Temperature during seed filling and soybean seed germination and vigour. *Seed Sci. Technol.* 25 : 233-244.
- Thomas, J. M. G., K. J. Boote, L. H. Allen, Jr., M. Gallo-Meagher, and J. M. Davis. 2003. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed germination and transcript abundance. *Crop Sci.* 43 : 1548-1557.
- Thuzar, M, A. B. Puteh, N. A. P. Abdullah, M. B. Lassim, and K. Jusoff. 2010. The effects of temperature stress on the quality and yield of soya bean [*Glycine max* L.) Merrill.]. *J. Agric. Sci.* 2(1) : 172-179.
- Tsukamoto, C., S. Shimada, K. Igita, S. Kudou, M. Kokubun, and K. Okubo. 1995. Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: Changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J. Agric. Food Chem.* 43 : 1184-1192.
- Wikipedia. 2013. Total dissolved solids. http://en.wikipedia.org/wiki/Total_dissolved_solids.
- Wolf, R. B., J. F. Canvins, R. Kleiman, and L. T. Black. 1982. Effect of temperature on soybean seed constituents; oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59 : 230-232.
- Woodstock, L. W. 1988. Seed imbibition: A critical period for successful germination. *Seed Technol.* 12 : 1-15.
- Zheng, S., H. Nakamoto, K. Yoshikawa, T. Furuya, and M. Fukuyama. 2002. Influences of high night temperature on flowering and pod setting in soybean. *Plant Prod. Sci.* 5(3) : 215-218.