

무의 질소 시비량에 따른 생육량 추정 모델식 개발

이상규^{1*} · 여경환¹ · 장윤아¹ · 이준구² · 남춘우¹ · 이희주¹ · 최장선¹ · 엄영철¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과, ²전북대학교 원예학과

Prediction of Radish Growth as Affected by Nitrogen Fertilization for Spring Production

Sang Gyu Lee^{1*}, Kyung-Hwan Yeo¹, Yoon Ah Jang¹, Jun Gu Lee², Chun Woo Nam¹, Hee Ju Lee¹, Chang Sun Choi¹, and Young Chul Um¹

¹Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Sciences, Rural Development Administration, Suwon 440-706, Korea

²Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

Abstract. The average annual and winter ambient air temperatures in Korea have risen by 0.7 and 1.4°C, respectively, during the last 30 years. Radish (*Raphanus sativus*), one of the most important cool season crops, may well be used as a model to study the influence of climatic change on plant growth, because it is more adversely affected by elevated temperatures than warm season crops. This study examined the influence of transplanting time, nitrogen fertilizer level, and climate parameters, including air temperature and growing degree days (GDD), on the performance of a radish cultivar 'Mansahyungdong' to estimate crop growth during the spring growing season. The radish seeds were sown from April 24 to May 22, 2012, at intervals of 14 days and cultivated with 3 levels of nitrogen fertilization. The data from plants sown on April 24 and May 8, 2012 were used for the prediction of plant growth as affected by planting date and nitrogen fertilization for spring production. In our study, plant fresh weight was higher when the radish seeds were sown on 24th of April than on 8th and 22nd of May. The growth model was described as a logarithmic function using GDD according to the nitrogen fertilization levels: for 0.5N, root dry matter = $84.66/(1 + \exp(-(GDD - 790.7)/122.3))$ ($r^2 = 0.92$), for 1.0N, root dry matter = $100.6/(1 + \exp(-(GDD - 824.8)/112.8))$ ($r^2 = 0.92$), and for 2.0N, root dry matter = $117.7/(1 + \exp(-(GDD - 877.7)/148.5))$ ($r^2 = 0.94$). Although the model slightly tended to overestimate the dry mass per plant, the estimated and observed root dry matter and top dry matter data showed a reasonable good fit with 1.12 ($R^2 = 0.979$) and 1.05 ($R^2 = 0.991$), respectively. Results of this study suggest that the GDD values can be used as a good indicator in predicting the root growth of radish.

Additional key words: base temperature, growing degree days (GDD), root dry matter

서 언

기후변화에 따른 이상기후의 발생 빈도가 점점 증가하고 있어 노지채소 작물의 피해가 크게 증가하고 있으며, 생산량 부족에 따른 가격폭등 등으로 국민경제에 불안을 초래하고 있다. 이상기후로 인하여 무 생산량이 줄어들어 전년과 비교하여 가격이 무는 320%, 배추는 354% 상승하여 국가

적인 대응책의 필요성이 제기된 바 있다(NIHHS, 2009). 이러한 이상기상 조건에서 피해를 경감하기 위하여 기후조건과 생육상황을 통해 수확량을 예측하기 위한 연구는 국외에서 많이 이루어지고 있으나 우리나라에서는 초보적인 단계로 주요 농작물에 대해서만 이루어지고 있는 실정이다.

기후변화가 원예작물 생산에 미치는 영향분석과 미래 예측을 위해 기존의 작물 수량통계 모형을 넘어서는 작물 생

*Corresponding author: sanggyul@korea.kr

※ Received 18 March 2013; Revised 22 April 2013; Accepted 6 May 2013. 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008316)의 지원에 의해 수행되었습니다.

육모델 개발 연구가 활발히 진행되고 있는데, 기개발된 작물 생육모델로는 DSSAT-CSM(미국), SWAP(화란), 그리고 WOFOST(화란) 모델 등(Eitzinger et al., 2004; Liu et al., 2010)이 활용되고 있으며, 모델간의 비교연구와 새로운 작물에 대한 적용연구가 이루어지고 있다. DSSAT-CSM(The decision support system for agrotechnology transfer-cropping system model)은 미국에서 개발한 DSSAT CROPGRO와 CERES(crop environment resource synthesis)의 16가지 작물모델을 포함하고, 작물생장과 발달, 토양수분, 질소 균형을 시뮬레이션하는 process-based model이다(Jones et al., 2003). 최근에 미국에서는 기후변화에 대한 작물 수량 반응을 예측하기 위해 CERES-maize 모델을 이용하여 온도 +2°C, 강수량 -20%를 적용하여 나온 수량예측 값과 3가지의 통계적 모델 이용 시 나온 수량예측 값을 비교하여 통계적 모델이 광범위한 지역에서의 기후변화에 따른 수량예측에 중요한 역할을 할 수 있다고 보고하였다(Lobell and Burke, 2010). 독일의 쾰른 대학에서는 2007년에 화란의 와게닝겐 대학에서 개발한 GECROS(genotype-by-environment interaction on crop growth simulator)와 미국의 DSSAT-CERES를 결합한 새로운 작물 생육 모델인 DANUBIA(interactive simulation system for global change research in the upper danube basin)를 이용하여 사탕수수, 봄보리, 옥수수, 겨울밀, 그리고 감자 등의 작물에 검증하는 연구결과를 보고하였다(Lenz-Wiedemann et al., 2010).

우리나라에서는 벼의 경우, GIS나 X-밴드 레이더 산란계 등을 활용한 벼 생육 모니터링, 기상요인별 수량 예측 등에 관한 연구가 수행된 바 있으나(Kim et al., 2010; Lee et al., 2010), 배추에 대해서는 엽수와 GDD(생육도일), 지상부 건물중과 GDD를 통해 봄배추의 생산량을 예측할 수 있는 모델식을 개발한 바 있다(Lee et al., 2012). 따라서 본 실험은 봄무를 대상으로 질소 시비량을 달리하여 재배하였을 때 시비량에 따른 생산량 예측 모델식을 개발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

봄무의 질소 시비량에 따른 생육량 추정을 위해 실험재료는 봄무 품종인 ‘만사형통’(cv. Mansahyungdong, Nongwoobio Co., Korea)을 사용하였다. 시험은 국립원예특작과학원 노지 시험포장에서 폭 150cm 이랑에 흑색 PE로 멀칭한 후 주간거리를 15cm × 15cm로 하여 구멍을 뚫고 한 구멍당 3-4립씩 무 종자를 직파한 후 발아가 되면 1주만을 남기고 솟아 주었다. 직파 일정은 2012년 4월 14일부터 5월 22일까지 14일 간격으로 3회를 실시하였고, 생육모델의 개발을 위해 4월

24일과 5월 8일 파종하여 재배한 무의 생육 데이터를 사용하였고, 개발된 모델의 검증을 위해서는 모델개발에 사용된 무와는 독립적으로 재배한(5월 8일 파종) 무의 생육데이터를 사용하였다. 질소 시비량 처리는 밑거름을 주기 전에 사전 토양분석을 실시하였고, 분석결과를 토대로 무 시비 추천량(16.0kg·10a⁻¹)에 맞추어 0.5(8.0), 1.0(16.0), 2.0N(32.0kg·10a⁻¹)를 각각 시비하였다. 시비방법은 총 시비 추천량 중 밑거름과 웃거름의 비율은 40:60%의 비율로 하였고, 웃거름은 정식 후 15일과 30일에 시비하였다. 생육조사는 정식 후 일주일 간격으로 처리별 3주씩 3반복 조사하였으며 엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 재배기간 동안의 환경 조건은 데이터로거(WatchDog 1450, Spectrum Technologies, Inc., USA)를 사용하여 기온, 지중온도, 습도 등을 측정하였으며, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100, Area meter, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 기후인자와 생육조사 결과와의 상관분석은 SAS 프로그램(SAS9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였으며, 엽수, 지상부, 및 건물중은 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot v11, Systat Software Inc, USA)을 이용하여 regression한 후, 시간과 GDD의 함수로서 나타내었다. 기저온도(base temperature)는 Park et al.(2002)의 자료에서 얻은 수치인 5°C로 설정하여 GDD를 계산하였다(Eq. 1).

$$\text{GDD (growing degree days, } ^\circ\text{C}\cdot\text{d)} = \sum (T_{\text{ave}} - T_b) \quad \text{Eq. (1)}$$

T_{ave} : daily average air temperature, T_b : base temperature(°C)

봄무의 질소시비 수준별 GDD와 엽수(NL) 및 지상부 건물중(TDM) 데이터를 여러 함수에 적용하여 fitting한 결과, 로그함수에서 가장 높은 r^2 값을 나타내어 봄무의 생육량을 나타내는데 가장 적합하였으며, 따라서 질소 시비량별 GDD에 따른 엽수(NL), 지상부 건물중(TDM) 및 지하부 건물중(RDM)은 Eq. 2, 3과 같이 로그함수로서 나타내었다.

$$\text{NL} = M [1 + (\text{GDD}/a)^b]^{-1} \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$\text{RDM (or TDM)} = M / (1 + \exp(-(\text{GDD}-a)/b))^{-1} \quad \text{(Eq. 3)}$$

NL: number of leaves, RDM: root dry matter, TDM: top dry matter, M: Maximum potential NL, RDM 또는 TDM, a와 b: 상수

무 재배관리는 표준영농교본 재배법에 근거(Park et al., 2002)하여 실시하였으며, 재배기간 중 배추 좀나방 등 병충해 방제를 위하여 2회 약제를 살포하였다.

결과 및 고찰

시험포장의 토양을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 토양 산도는 pH 7.36으로 무 재배지의 적정치보다 약간 높았으나 염류농도(EC)는 $0.83\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 유기물 함량은 3.65% 등으로 무를 재배하는 장소로서 적절하였다. 재배기간 동안의 환경 조건을 조사한 결과(Fig. 1), 기온은 $9.1\text{--}33.8^\circ\text{C}$ 정도의 범위였고, 토양 10cm 부근의 지중 온도는 $16.3\text{--}29.2^\circ\text{C}$, 상대습도는 15.8-94.6%의 범위를 보였다.

정식시기에 따른 생육조사 결과(Table 2), 근장과 근경은 4월 24일과 5월 8일 처리에 비해서 5월 22일 처리구가 현저하게 적었고, 엽수는 직파일보다는 시비량에 따른 효과가 컸고, 시비량이 많은 처리에서 많았다. 엽록소함량은 직파일

이 빠를수록 그리고 시비량이 많을수록 높은 것으로 나타났다. 지상부 생체중에 있어서는 5월 22일 처리구에서 현저하게 낮았으며 질소시비량 처리에서는 0.5N 처리구가 다른 처리에 비해서 낮았다. 지하부 생체중에 있어서는 5월 22일 처리구에서 다른 처리에 비해서 낮았고, 시비량 처리에서는 0.5N 처리구에서 낮은 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 Lee et al.(2012)이 봄배추 재배 시 4월 정식처리가 5월 정식구보다 구중이 높아 봄배추 정식기가 4월 하순이라고 보고한 내용과 유사한 결과를 보였다. 따라서 봄무의 정상적인 수확을 위해서는 5월 상순까지는 직파를 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

봄무의 뿌리 내 무기성분 함량을 분석한 결과(Table 3), 칼리의 함량은 5월 22일 직파한 처리가 다른 두 처리에 비해

Table 1. Soil chemical properties in the field as influenced by basal fertilization for production of Radish in spring season.

pH	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	OM (%)	P ₂ O ₅	NO ₃ -N	K	Ca ($\text{Cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mg
			(mg·kg ⁻¹)				
7.36	0.83	3.65	660	7.80	0.004	0.07	0.019

Table 2. Growth of radish as affected by transplanting date and nitrogen fertilizer on the 60th day after sowing in spring season.

Sowing date (A)	Nitrogen Fertilizer (B)	Root (cm)		No. of leaves	Chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
		Length	Diam.				Top	Root	Top	Root
24 April	0.5N	32.2	13.33	51.3	53.9	2,094	807	2,340	68.74	71.46
	1.0N	37.2	14.44	62.4	57.4	1,842	1,139	3,332	93.60	105.55
	2.0N	33.6	13.21	56.7	59.7	1,929	995	2,570	88.79	90.07
8 May	0.5N	30.1	13.80	49.6	42.2	2,097	575	2,866	44.06	78.61
	1.0N	33.4	13.36	59.5	46.3	1,947	828	3,082	54.15	76.94
	2.0N	32.4	13.80	62.7	51.9	1,880	830	3,299	55.73	89.75
22 May	0.5N	26.2	11.45	50.8	39.0	2,284	329	1,593	31.44	75.36
	1.0N	27.8	11.20	53.2	39.3	2,253	396	1,689	37.06	90.48
	2.0N	28.9	11.51	55.4	40.0	2,088	456	1,776	41.39	85.02
Significance										
Sowing date (A)		***	***	NS	***	***	***	***	***	NS
Nitrogen fertilizer (B)		*	NS	***	***	***	***	*	***	*
A × B		NS	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS

ns,*,**,** Non-significant or significant difference at 5%, 1%, and 0.1%, F-test.

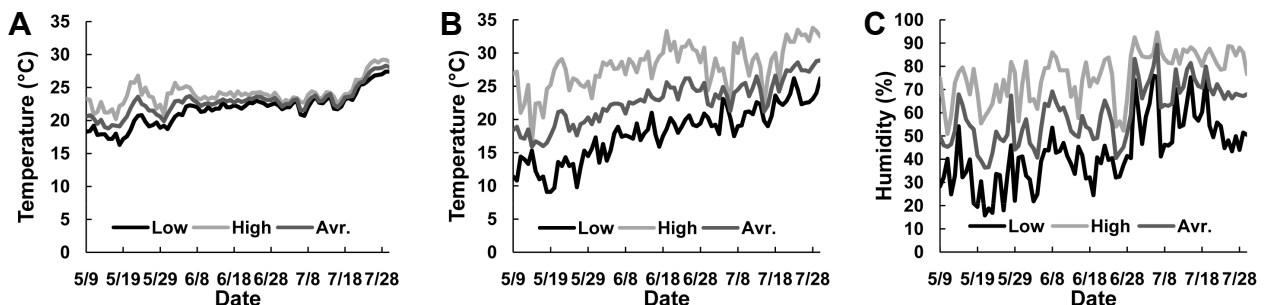


Fig. 1. Changes of soil temperature (A), air temperature (B), and humidity (C) in cultivation area.

Table 3. Mineral contents of radish as affected by transplanting date and nitrogen fertilizer on the 56th day after sowing in spring season.

Sowing date (A)	Nitrogen Fertilizer (B)	K ₂ O	CaO	MgO (%)	P ₂ O ₅	T-N
24 April	0.5N	8.7	0.8	0.3	0.4	3.2
	1.0N	9.9	0.8	0.3	0.4	3.2
	2.0N	10.0	1.0	0.4	0.4	3.4
8 May	0.5N	9.4	1.1	0.3	0.5	3.0
	1.0N	8.9	1.6	0.3	0.4	3.1
	2.0N	9.0	1.7	0.4	0.4	3.2
22 May	0.5N	4.8	1.0	0.3	0.5	2.5
	1.0N	6.3	1.0	0.3	0.5	2.7
	2.0N	6.7	1.1	0.3	0.5	2.9
Significance						
Sowing date (A)		***	***	NS	***	***
Nitrogen fertilizer (B)		**	***	**	NS	***
A × B		*	*	NS	*	NS

ns,*,**,** Non-significant or significant difference at 5%, 1%, and 0.1%, F-test.

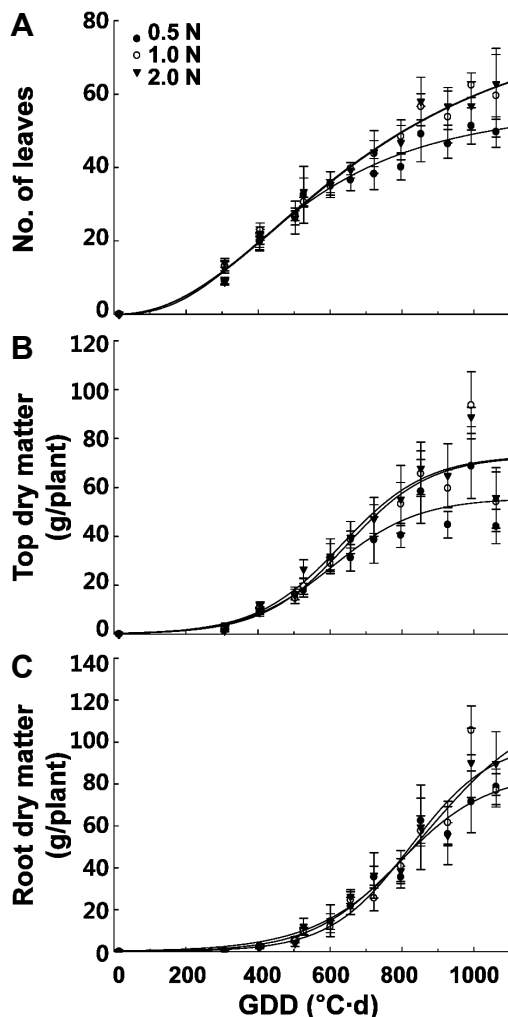


Fig. 2. Changes of number of leaves A), top dry matter (B), and root dry matter (C) with respect to GDD (growing degree days) for spring radish. Vertical bars indicate the standard errors of the mean values (n = 10).

서 낮았고, 질소 시비량별로는 뚜렷한 경향치를 보이지 않았다. 칼슘함량은 4월 22일 직파한 처리에서 낮은 칼리와 다른 경향을 보였으며 질소시비량 처리에서는 시비량이 많았던 처리에서 높은 경향을 보였고, 인산 함량은 5월 22일 처리에서 높은 경향을 보였다. 총질소 함량은 5월 22일 처리와 질소시비량이 적었던 처리에서 낮은 경향을 보였다.

봄무의 질소시비 수준별 GDD와 엽수(NL) 및 지상부 건물중(TDM) 간에는 높은 유의성이 있었으며, 엽수와 지상부 건물중을 GDD를 사용하여 로그함수로 나타내면(Fig. 2) 표준 질소시비구인 1.0N 처리에서 $NL = 86.43 / 1 + (GDD / 700.8)^{-2.228}$ ($r^2 = 0.92$), $TDM = 72.78 / (1 + \exp(-(GDD - 646.1) / 115.7))$ ($r^2 = 0.92$)로 나타낼 수 있었다. 또한 GDD에 따른 지하부 건물중(RDM)을 로그함수로서 질소시비 수준별로 나타내면(Fig. 2), 0.5N 처리구에서는 $RDM = 84.66 / (1 + \exp(-(GDD - 790.7) / 122.3))$ ($r^2 = 0.92$), 1.0N 처리는 $Y = 100.6 / (1 + \exp(-(GDD - 824.8) / 112.8))$ ($r^2 = 0.92$), 2.0N 처리는 $Y = 117.7 / (1 + \exp(-(GDD - 877.7) / 148.5))$ ($r^2 = 0.94$)로 나타났다.

원예작물의 생육과 수량을 예측하기 위해 환경변수로서 적산일사량, 적산온도 등을 이용한 작물생육모델에 관한 연구가 현재까지 많이 진행되어 왔다. 국내에서는 원예작물 중 청경채(Cho and Son, 2009), 장미(Yeo et al., 2011), 배추(Lee et al., 2012) 등에서 생육모델이 발표되었으나 무의 생육모델은 아직 보고되어 있지 않다. Lee et al.(2012)은 배추에서 질소 시비수준에 따른 엽수 및 지상부 건물중을 조사하여, GDD와 엽수, GDD와 지상부 건물중의 분포를 분석한 결과, 3차함수로 다항회귀식을 도출하여 GDD를 통해 봄

배추의 생산량을 예측할 수 있는 모델식을 개발하였다(Lee et al., 2012). 기존의 봄배추 생육 모델식의 경우, 질소시비 수준별 생육량에 큰 차이가 없었기 때문에 질소시비 수준의 영향을 모델식에 포함시키지 않았으나, 본 실험의 경우 표준시비량 처리(1.0N)에 비해 0.5N 처리에서 생육량의 감소가 현저하게 나타났다. 작물의 생육은 같은 작물이라고 하더라도 품종별로 다양한 결과를 나타내고, 또한 기존에 발표된 모델 중에는 무의 질소시비별 생육량 예측에 관한 모

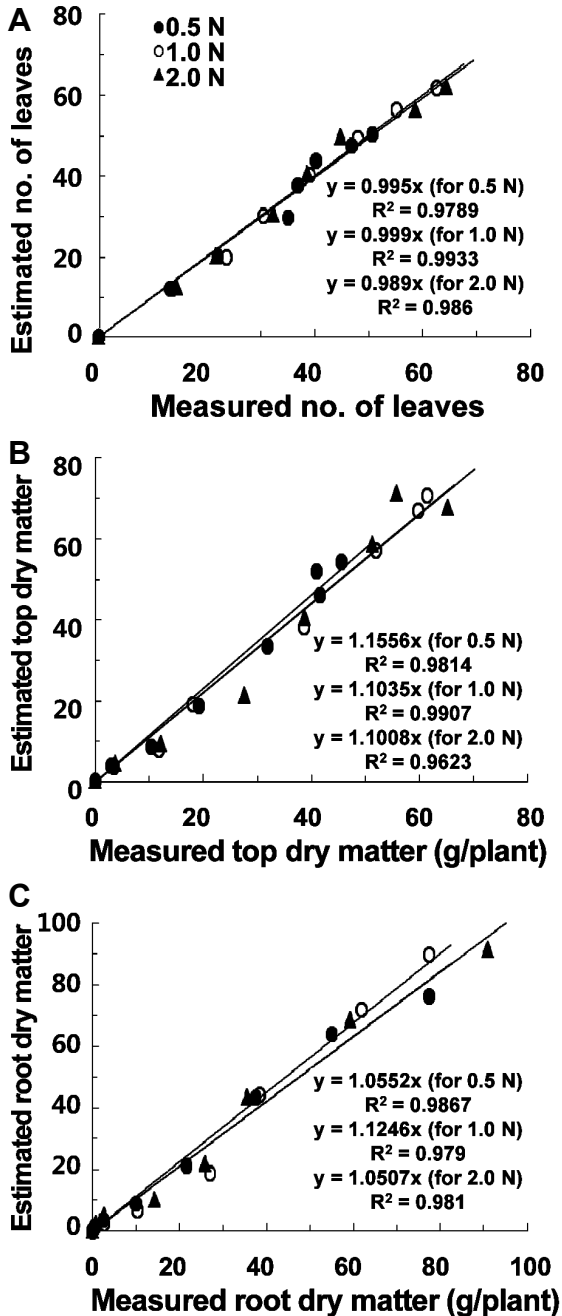


Fig. 3. The relationship between measured and estimated number of leaves (A), top dry matter (B), and root dry matter (C) of spring radish according to the logarithmic equation as a function of GDD. Each dot is the mean value of 10 plants.

델식이 아직 보고되어 있지 않으므로, 봄무의 질소시비에 따른 생육예측을 위해서는 시비 수준별 생육량 데이터를 사용하여 모델식을 구축하여 생육량을 예측하는 것이 정확할 것으로 생각된다.

구축된 모델식을 통해 예측된 질소시비 수준별 엽수, 지상부 건물중 및 지하부 건물중과 실제 측정치를 비교 검토하였다(Fig. 3). 엽수의 경우 실측치와 예측치간의 기울기가 0.99로서 정확한 추정이 가능하였다. 지상부 건물중 및 지하부 건물중은 실제 건물중에 비해 다소 높게 예측되어 실측치와 예측치간 기울기는 1.05-1.12로 나타났으나 구축된 모델식을 기반으로 하여 수치를 보정하여 적용하는 것에는 무리가 없는 것으로 생각된다. 따라서 봄무의 경우 GDD 측정만으로 지하부 건물중을 예측할 수 있어 수확량 예측에 활용이 가능할 것으로 사료된다. 그러나 실질적으로 무의 수량은 생체중으로 표현되기 때문에 생육도일과 지하부 건물중과의 관계를 통해 건물중을 예측할 수 있다고 하더라도 생체중의 예측은 힘들다. 따라서 건물중을 생체중으로 변환시키기 위한 관계식을 설정할 필요가 있다(Nendel et al., 2009).

GDD에 따른 지상부 건물중(%)의 변화를 조사한 결과 GDD와 지상부 건물중 간에는 유의적인 차이가 나타나지

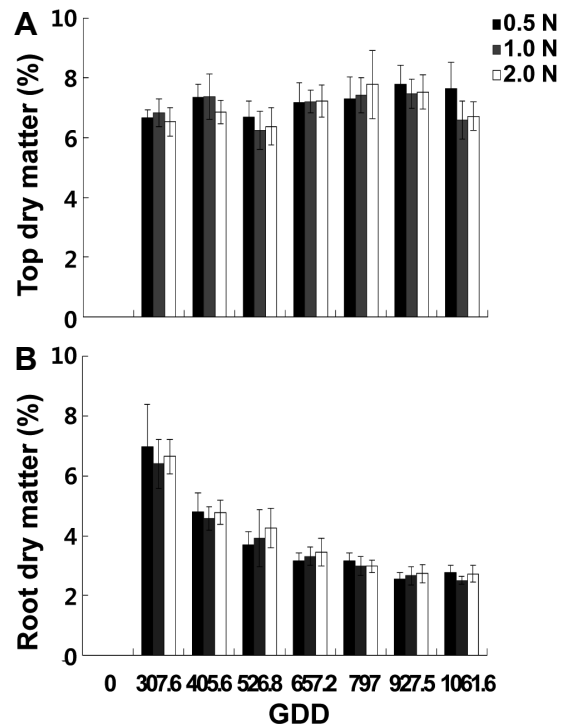


Fig. 4. The ratio of top dry matter (A) and root dry matter (B) to top and root fresh weight as affected by nitrogen fertilization levels with respect to GDD (growing degree days) for spring radish. Vertical bars indicate the standard errors of the mean values (n = 15).

않았으나 지하부 건물울은 300°C·d 이후 모든 질소시비구에서 600°C·d까지 GDD가 증가할수록 급격하게 감소하는 경향을 나타내었고, 650°C·d 이상에서 건물울의 감소율은 낮아졌다(Fig. 4). 따라서 봄무의 지하부 건물중과 생체중과의 관계는 직선적인 관계가 아닌 Fig. 5와 같이 거듭 제곱식으로 나타내었다. 이러한 생체중과 건물중의 관계는 기존의 Lee et al.(2012)의 봄배추를 대상으로 구한 2차식과 Cho and Son(2009)의 수경재배 청경채에서 나타난 직선적인 1차 관계식과는 차이가 있었는데, 이것은 무의 건물울이 일정시기 이후 감소되어 배추나 청경채와는 다른 양상을 나타내었기 때문이다. 즉, 구축된 로그함수를 통해 건물중을 예측하였고, 건물중과 생체중의 관계식을 통해 질소시비별 봄무의 생체중을 예측할 수 있었다(Fig. 5). 이러한 결과는 Lee et al.(2012)이 봄배추를 대상으로 구축한 수확량 예측 모델식과 유사한 경향을 보였다. 그러나 Cho and Son(2009)이 수경재배 청경채에서 구한 직선적인 1차 관계식과는 차이가 있었는데, 이것은 무는 청경채보다 일정 시기 이후에 건물울이 더 크게 낮아지기 때문으로 판단되었다. 이와 같이 생육량 추정에는 작물별로 시기별로 다양한 결과를 초래하기

때문에 우리나라에서도 기후변화와 관련하여 작물별로 수량예측 모델 개발 연구가 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

초 록

최근 30년 동안 우리나라의 평균온도와 겨울철 온도가 각각 0.7°C와 1.4°C가 상승하였고 지속적으로 상승할 것으로 예측된다. 무는 매우 중요한 작물로 온난화에 따른 생육 모델 연구는 중요하다. 본 실험은 기상 이변에 따른 무의 생육량을 추정하기 위하여 정식시기와 질소 시비량을 다르게 처리하여 시험하였다. 파종시기는 4월 24일부터 5월 22일까지 14일 간격으로 3회에 걸쳐 실시하였고, 질소 시비량은 표준 시비량의 0.5, 1.0, 2.0배 수준으로 3처리를 하였다. 그 결과, 무 파종 후 2개월째 생육은 4월 24일 처리구가 5월 8일과 22일 처리구보다 지상부 생체중이 높게 나왔다. 수확량 예측을 위한 생육 모델식은 질소 시비량별 GDD에 따른 지하부 건물중은 0.5N 처리구에서는 $Y = 84.66 / (1 + \exp(-(GDD - 790.7) / 122.3))$ ($r^2 = 0.92$), 1.0N 처리는 $Y = 100.6 / (1 + \exp(-(GDD - 824.8) / 112.8))$ ($r^2 = 0.92$), 2.0N 처리는 $Y = 117.7 / (1 + \exp(-(GDD - 877.7) / 148.5))$ ($r^2 = 0.94$)로 나타낼 수 있었다. 구축된 모델식에 생육데이터를 사용하여 검증한 결과를 보면 기온기가 1.05-1.12로 다소 높게 추정하였지만 모델식으로 적용하는 것에는 무리가 없는 것으로 나타났다. 따라서 봄무 생산량 예측 시 GDD를 사용하여 수확량을 예측할 수 있을 것으로 사료되었다.

추가 주요어 : 기저온도, 생육도일, 지하부 건물중

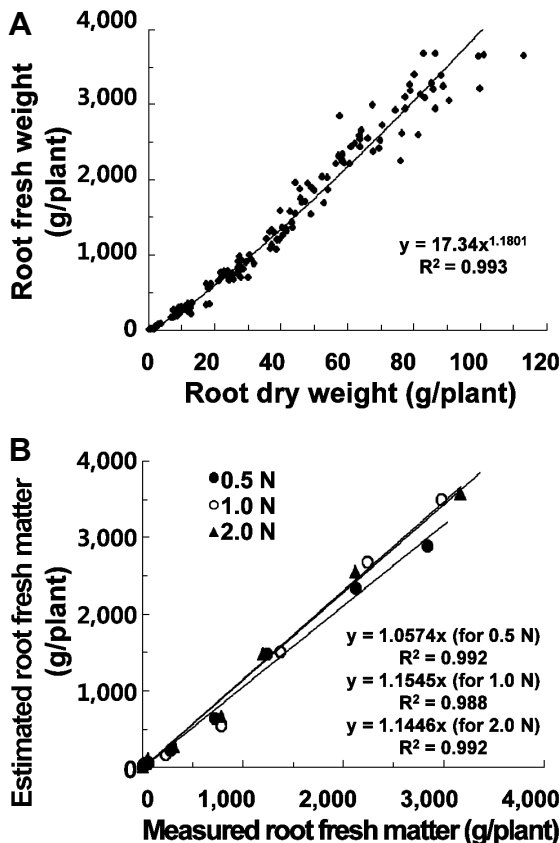


Fig. 5. Relationship between root dry matter and root fresh matter (A) and the relationship between measured and estimated root fresh matter (B) of spring radish. Each dot represents the mean value of 10 plants.

인용문헌

- Cho, Y.Y. and J.E. Son. 2009. Determination of suitable parameters for developing adequate growth model of pak-choi plants. Hort. Environ. Biotechnol. 50:532-535.
- Eitzinger, J., M. Trnka, J. Hosch, Z. Zalud, and M. Dubrovsky. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecol. Modeling 171:223-246.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. Europ. J. Agron. 18:235-265.
- Kim, Y.H., S.Y. Hong, and H.Y. Lee. 2010. Construction of X-band automatic radar scatterometer measurement system and monitoring of rice growth. K. J. Soil Sci. Fert. 43:374-383.
- Lee, B.W., Y.H. Lee, J.E. Lee, K.H. Moon, D.J. Kim, K.J. Lee, and D.H. Choi. 2010. Develop crop growth models for soybean,

- potato, and oilseed rape, evaluate the temperature response of major upland crop under the changed climate condition. Res. Rept. RDA. p. 89.
- Lee, S.G., T.C. Seo, Y.A. Jang, J.G. Lee, C.W. Nam, C.S. Choi, K.H. Yeo, and Y.C. Um. 2012. Prediction of Chinese Cabbage Yield as Affected by Planting Date and Nitrogen Fertilization for Spring Production. *J. Bio-Environ. Control* 21:271-275
- Lenz-Wiedemann, V.I.S., C.W. Klar, and K. Schneider. 2010. Development and test of a crop growth model for application within a global change decision support system. *Ecol. Modeling* 221:314-329.
- Liu, H.L., J.Y. Yang, C.F. Drury, W.D. Reynolds, C.S. Tan, Y.L. Bai, P. He, J. Jin, and G. Hoogenboom. 2010. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 89:313-328.
- Lobell, D.B. and M.B. Burke. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural Forest Meteorol.* 150:1443-1452.
- National Institute of Horticultural & Herbal Science (NIHHS). 2009. Annual report in 2009. NIHHS, Suwon, Korea.
- Nendel, C., U. Schmutz, A. Venezia, F. Piro, and C.R. Rahn. 2009. Converting simulated total dry matter to fresh marketable yield for field vegetables at a range of nitrogen supply levels. *Plant Soil* 325:319-334.
- Park, S.Y., J.S. Lee, M.H. Seo, and J.S. Lee. 2002. Technology of radish cultivation. Rural Development Administration, Suwon, Korea. p. 177.
- Yeo, K.H., Y.Y. Cho, and Y.B. Lee. 2010. Estimation of growth and yield for single-stemmed rose 'Vital' in a single stem system. *Hort. Environ. Biotechnol.* 52:455-465.