

BLSS의 식물생산시스템을 위한 감자성장 모델링

Potato Growth Modeling for Plant Production System of Bioregenerative Life Support Systems

이현우* · K. C. Ting**

*경북대학교, **Rutgers University

H. W. Lee* · K. C. Ting**

*Kyungpook National University, **Rutgers University, USA

1. 서 론

올해 10월경 우리나라 최초의 지구관측 및 우주과학용 실용화 위성인 다목적 실용위성 1호가 미국 Vandenberg에서 발사될 예정이며 앞으로 우리나라에서도 우주과학과 관련된 산업이 급속히 발전할 것으로 예상된다. 미국에서의 우주산업은 현재까지 많은 발전을 거듭해 왔으며 최근 인간의 화성여행을 지원하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 화성탐사에 소요되는 우주여행 시간은 약 3년 정도로 예상되고 있고, 이 우주여행 기간 동안 승무원들은 폐쇄생태계내에서 생활을 하여야 하며, 이들에게 필수적인 요소인 공기, 물 및 음식이 끊임없이 공급되어야 한다. 최근 이와 관련된 특수 환경하에서의 생명지원시스템에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

BLSS(Bioregenerative Life Support Systems)는 생물생산, 식품가공, 폐기물처리, 공기정화 및 정수등의 여러 가지 시스템요소로 구성되며, 이들 요소들 상호간의 관계를 규명하여 강력한 생명지원시스템으로 운영될 수 있는 하나의 통합된 시스템으로 개발될 필요가 있다. 이러한 연구는 지금까지 얻어진 여러 가지의 학술적 연구결과들은 통합시켜 하나의 통합시스템을 구축하므로써 가능하며, 이를 위해 BLSS내부의 각각의 시스템 요소들의 개발과 동시에 요소들 상호간의 관계가 규명되어야 한다.

BLSS의 생물생산시스템과 관련되는 식물은 식품제공뿐만 아니라 이산화탄소와 산소공급, 정수, 폐기물처리 및 자원재생의 기능을 제공할 수 있으며 승무원들의 정서에도 많은 도움이 될 수 있다.

BLSS의 식물생산시스템의 입력과 출력자료는 다른 서브시스템에 큰 영향을 주며, 생육환경과 식물성장의 상호관계에 관한 시뮬레이션 모델은 이러한 영향을 예측하고 제어하는 도구로 사용될 수 있다. 예를들면 온도의 영향으로 식물생산이 감소되면 BLSS의 식품생산과 폐기물에 어떤 영향을 줄 것인가? 또, 온도가 올라간다면 이것이 BLSS의 다른부분에 사용되어야 할 에너지를 줄이게 되어 시스템 유지에 어떤 영향을 줄 것인가? 이러한 가정 시나리오에 따라 연구를 수행하기 위해서는 BLSS에 적합한 작물들에 대한 성장예측모델의 개발이 필요하다.

필드에서 적용이 가능한 여러 가지 작물의 성장 시뮬레이션 프로그램들이 개발되어 있으며, 이러한 프로그램들은 작물의 생산계획과 관리를 예측하고 최적화 하는데 이용될 수 있고, 온실에서 작물의 수확시기를 조절하기 위한 환경제어의 수단으로도 이용이 가능하다.

BLSS의 식물생산시스템을 위한 식물성장모델은 필드용으로 이미 개발된 모델들을 수정하여 개선시키므로써 개발이 가능하다. 본 연구에서는 BLSS에 적합한 품목중의 하나로 선정된 감자에 대한 기존의 필드용 시뮬레이션 프로그램을 Growth Chamber내의 환경에서 적용이 가능하도록 수정을 시도하고 문제점을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

(1) DSSAT 프로그램

DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer) 프로그램은 IBSNAT(the International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer)에 의해 개발되었으며 기상환경, 토양환경, 작물관리 및 제어 등과 관련된 자료를 입력하여 필드에서의 작물성장을 시뮬레이션하는 프로그램이다. 이 프로그램은 12가지의 작물에 적용할 수 있으며, 이중 감자의 성장에 관한 시뮬레이션 모듈은 SUBSTOR이며 12개의 품종에 대해 적용이 가능하다.

(2) 프로그램 수정 및 입력자료

필드에서의 광주기는 Sine Wave인 반면 Growth Chamber내의 광주기는 Square Wave이기 때문에 일정한 값의 온도와 광량을 입력할 수 있도록 프로그램을 수정하였다. 물과 영양분은 제한을 두지 않고 최적으로 공급된다고 가정하였다.

(3) 분석방법

일장, 광량, 온도 및 이산화탄소농도 등의 변화에 따른 괴경의 건조중량을 실험값과 SUBSTOR를 이용하여 계산한 값을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

필드에서의 감자성장모델을 챔버환경에 적용할 수 있도록 프로그램을 일부 수정하여 수확량을 계산하고 실험값과 비교하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 일장 및 광량에 따른 생산량 비교

Table 1은 일장, 광량, CO₂농도의 변화에 따른 Russet burbank 품종의 생산량을 비교한 것이다.

Table 1. Potato dry weight under the different day length and light intensity.

	CO ₂ Concentration (ppm)	Photoperiod(hours)			
		12		24	
		PPF(μ mol/m ² s)			
		400	800	400	800
Leaf(g/plant)	350	79(3)	93(9)	165(42)	137(47)
	1000	103(3)	85(44)	184(46)	112(47)
Stem(g/plant)	350	16(3)	17(12)	78(74)	52(144)
	1000	17(4)	12(56)	57(90)	35(166)
Tuber(g/plant)	350	225(46)	262(210)	339(125)	311(125)
	1000	321(63)	335(243)	388(125)	272(125)
Total(g/plant)	350	322(52)	374(230)	587(240)	504(315)
	1000	443(70)	431(343)	662(261)	418(338)

() : Calculation.

잎과 줄기의 건조중량에 대한 실험값과 계산값이 많은 차이를 보이고 있고 이들을 비교하기 위한 실험자료가 극히 제한되어 있었기 때문에 자세한 분석이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 괴경의 건조중량에 대해서만 비교분석을 하였다.

전반적으로 계산값이 실험값에 비하여 비교적 적은 것으로 나타났으며, 이는 주로 펄드모델은 산란광을 고려하지 않고 있으나, 실제 챔버 내에서는 산란광이 대단히 많기 때문인 것으로 판단되고 이에 대한 수정이 필요할 것으로 생각된다. 실험결과는 24시간의 일장인 경우가 12시간의 경우보다 생산량이 더 많았으나, 프로그램은 24시간의 일장시간에 대한 시뮬레이션을 수행하지 못하는 것으로 나타났으므로 연속광에 대한 모델의 수정이 필요하다. 광량이 적은 400 μ mol/m²s에서 실험값과 계산값의 차이가 특히 큰 것은 많은 광량에서보다 적은 광량에서 광량의 변화에 따른 광합성량의 변화가 크기 때문인 것으로 생각된다. 이산화탄소 농도가 1000인 경우가 350인 경우보다 괴경생산량이 더 큰 것으로 나타나 실험값과 계산값의 변화 경향은 일치 하는 것으로 나타났다.

Table 2는 일장의 변화에 따른 괴경 생산량의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 20시간 까지의 변화 경향은 잘 일치하고 있으나 역시 산란광의 영향으로 계산값이 실험값보다 적었다. Table 1에서와 마찬가지로 적은 광량에서 생산량은 많은 차이를 보이고 있다.

Table 2. Relationship between tuber dry weight and day length.

	Photoperiod(hours)		
	12	16	20
Experiment(g/plant)	258	194	304
Calculation(g/plant)	58	144	255

(2) 온도변화에 따른 괴경의 생산량 비교

Table 3은 온도변화에 따른 괴경의 생산량 변화를 나타낸 것이다. 비록 실험값이 Norland품종에 대한 결과이지만 개략적인 비교를 실시하였다. 생산량은 산란광의 영향 및 품종의 차이로 계산값이 이론값보다 적지만 온도변화에 따른 생산량의 변화 경향은 일치하며 24도 이상의 온도에서는 계산이 불가능하였다.

Table 3. Relationship between tuber dry weight and temperature.

	Temperature(°C)					
	12	16	20	23	24	28
Experiment(g/plant)	50	67	71	-	45	0
Calculation(g/plant)	16	26	28	8	-	-

(3) 이산화탄소 농도변화에 따른 괴경의 생산량 비교

Table 4와 Table 5는 이산화탄소의 농도변화에 따른 생산량의 변화를 나타낸 것이다. Table 4의 실험값은 Norland, Denali 및 Russet Burbank 품종에 대한 평균값이지만 변화 경향은 비슷하고, Table 4와 Table 5 모두 이산화탄소 농도가 1000정도까지는 생산량이 증가하나 그 이상에서는 큰 변화가 없어 실험값과 변화경향이 일치하였다.

Table 4. Relationship between tuber dry weight and CO₂ concentration.

	CO ₂ concentration(ppm)			
	500	1000	1500	2000
Experiment(g/plant)	5.6	9.3	9.7	12.4
Calculation(g/plant)	7.9	10.5	10.6	10.6

Table 5. Relationship between tuber dry weight and CO₂ concentration.

	CO ₂ concentration(ppm)		
	400	1000	1600
Experiment(g/plant)	88	103	105
Calculation(g/plant)	29	40	40

4. 요약 및 결론

분석결과에 따르면 실험값과 계산값의 차이는 주로 광환경 즉 일장과 일사량에

의한 것으로 나타났기 때문에 이들에 대한 추가적인 실험분석이 요구된다.

시뮬레이션 결과에서 얻어진 것처럼 극히 제한된 수확일에 대한 실험자료만 있기 때문에 식재부터 최종 수확일까지의 연속적인 비교분석에 어려움이 있었다.

사용된 프로그램에는 엽성장을, 괴경성장을 등과 같은 유전자계수들이 품종별로 다르게 입력되어 있으며, 이들 계수는 필드환경과 챔버환경에서 달라질 수 있기 때문에 실험을 통한 계수조정이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Fleisher, D.H. and K.C. Ting, 1998. Top level of the biomass production component of an advanced life support system, ASAE Paper No. 984157. St. Joseph, Mich.:ASAE.
- (2) Wheeler, R.M., T.W. Tibbitts, 1986. Utilization of potatoes for life support systems in space. I. Cultivar-photoperiod interactions, American potato journal 63:315-323.
- (3) Wheeler, R.M., K.I. Steffen, T.W. Tibbitts and J.P. Palta, 1986. Utilization of potatoes for life support systems. II. The effects of temperature under 24-H and 12-H photoperiods, American potato journal 63:639-647.
- (4) Wheeler, R.M., T.W. Tibbitts and A.H. Fitzpatrick, 1989. Potato growth in response to relative humidity, Hortscience 24(3):482-484.
- (5) Wheeler, R.M., T.W. Tibbitts and A.H. Fitzpatrick, 1991. Carbon dioxide effects on potato growth under different photoperiods and irradiance, Crop Science 31:1209-1213.