농작물생육모의에 의한 토지의 무비료 소출능력평가방법

류철성, 김광연, 한순옥

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학과 기술의 시대, 정보화시대의 요구에 맞게 농촌기술혁명을 힘있게 벌려 농촌경리의 물질기술적토대를 더욱 강화하고 농업의 과학화, 현대화수준을 끊임없이 높여나가야 합니다.》

토지의 생산성을 주성분분석, 다변량회귀분석 등 통계적방법으로 평가하는 경우 농작물생육기간 기상기후, 영양원소보장조건 등의 변화동태를 반영할수 없는것과 관련하여 생산성차이를 구체적으로 나타낼수 없다.[1, 3] 이러한 변화동태를 반영할수 있는 효과적인 방법의 하나는 농작물생육과정을 일별로 모의하여 입력변수들이 농작물생육에 미치는 작용과 그 결과가 농작물소출에 반영되도록 하는것이다.

우리는 토지의 무비료소출능력을 농작물생육모의방법으로 평가하기 위한 연구를 하였다.

자료와 방법

자료 토지의 무비료소출능력계산에서는 농작물의 생육에 큰 영향을 주며 소출과의 상관이 큰 지표들을 리용하였다. 여기에는 일평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 해비침률, 바람속도, 상대습도, 포차와 같은 기상기후학적지표들과 지점별위도, 해발높이, 경사도, 방위, 해안으로부터의 거리와 같은 지형학적지표들, 포전별 토양류형, 토심, 알갱이조성, 돌자갈함량, 산도, 부식함량, 수리조건, 기계화조건, 특수피해, 건습랭습관계 등의 토양학적지표들이 속한다.

기상기후자료로는 2013-2018년까지 6년동안의 기상관측자료를 리용하였고 지형자료와 토양자료는 제11차 포전별토양조사분석자료를 리용하였다.

방법 먼저 농작물생육모의모형을 리용하여 무비료조건에서의 기후학적생산잠재력을 평가하고 그것을 지력점수와 결합시키는 방법으로 토지의 무비료소출능력을 평가하였다.

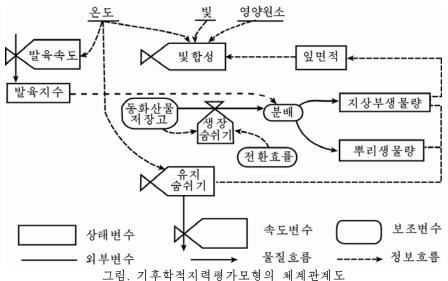
결과 및 론의

1) 기후학적생산잠재력평가

기후학적생산잠재력은 표준토양조건에서의 무비료소출능력을 농작물생육모의에 의하여 얻는 방법으로 평가하였다.

표준토양조건은 논의 경우 알갱이조성이 질메흙이고 토심이 깊으며 랭습, 특수피해가 없고 토양산도가 약산성이며 부식함량이 많은 갈색논토양으로 하였고 밭의 경우 알갱이조성이 메흙이고 토심이 깊으며 습해와 특수피해가 없고 토양산도가 약산성이며 부식함량이 많은 갈색밭토양으로 하였다.

기후학적생산잠재력을 평가하는 농작물생육모의모형의 체계관계도는 그림과 같다.



기후학적생산잠재력평가모형은 해당 지역의 빛, 온도, 물보장조건, 영양원소보장성을 통일적으로 고려하는 종합모형으로서 수백여개의 요소적모형들의 결합으로 이루어져있다.

농작물생육모의에서는 빛조건, 온도조건, 강수조건, 영양원소보장조건 등을 입력변수로 하여 농작물의 빛합성과정, 숨쉬기과정, 발육과정, 토양안에서의 물과 영양원소이동과정 등 을 일별로 모의하여 기후학적인 소출잠재력을 계산한다.

같은 군안에서도 지점별로 기상조건에서 차이가 있다.(표 1)

키져	4-	월	5-	월	6	월	7-	월	8· 최고	월	9	월
시엽	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저
1	12.2	2.8	18.2	8.4	20	13.2	23.7	17.7	25.8	19.4	22.8	13.9
2	13	2.6	19.4	8.3	21.2	13.1	24.7	17.5	26.6	19.2	23.2	13.8
3	14.1	2.6	20.1	8.2	21.5	12.8	24.8	17.1	26.6	19	23.2	13.5

표 1. 함경남도 리원군의 지점별기온차이(℃)

기후학적생산잠재력평가모형에서는 해발고와 해안거리에 따르는 기온변화를 생태지역 과 순별로 작성한 다음의 회귀식을 통하여 반영하였다.

$$\triangle t = A_1(h_0 - h) + A_2(S_0 - S)$$

여기서 $\triangle t$ 는 포전면우에서의 평균기온과 기상관측소에서 관측한 값과의 차(°C), h_0 은 관측지점의 해발고(m), S_0 은 관측지점까지의 해안거리(km), h는 포전의 해발고(m), S는 포전위치까지의 해안거리(m)이다. A_1 과 A_2 는 생태지역과 순별로 추정한 회귀곁수이다.

다음 경사도와 방위에 따르는 하루총복사량의 변화는 다음식에 의하여 계산하였다.

$$Q/Q_0 = \cos\alpha + 0.5\sin\alpha(\cos\beta + |\sin\beta|)\tan\psi - \frac{0.08\tau_0\sin\alpha(\cos\beta + |\sin\beta|)\sin\delta}{\cos\psi(\tau_0\sin\psi\sin\delta) + \cos\psi\cos\delta\sin\tau_0}$$

여기서 Q_0 은 평지조건에서의 하루총복사량, Q는 경사각이 α 이고 경사방위각이 β 인 경사지에서의 하루총복사량, δ 는 태양적위, ψ 는 위도, α 는 토양겉면의 평균경사각, β 는 경사방위

각, 70는 해뜨고 지는 시각을 나타내는 시간각이다.

평지에서와 경사지에서의 태양직달복사세기의 비(I/I0)는 다음식에 의하여 계산하였다.

 $I/I_0 = (\sin\alpha \cdot \cos h_0 \cdot \cos(\beta - A) + \cos\alpha \cdot \sin h_0) / \sin h_0$

여기서 I_0 은 평지조건에서의 태양직달복사세기, I는 경사지조건에서의 태양직달복사세기, α 는 경사각, β 는 경사방위각, h_0 은 태양고도각, A는 태양방위각이다.

평지에 비한 경사지에서 평균기온의 변화(△t)는 다음식에 의하여 계산하였다.

$$\Delta t = (17.6\sqrt{D} - 9.68) \left[0.17 + 1.03(I/I_0 - 1)\sin h_1 \cdot I_\alpha \cdot I_{h_0} \right]$$

여기서 D는 해비침률, h_1 은 39°의 위도에서 13시 30분 때 태양고도각이다. 또한 $I_{\alpha} = \begin{cases} 0, \, \alpha = 0 \\ 1, \, \alpha \neq 0 \end{cases}$

$$I_{h_0} = \begin{cases} 0, \, h_0 \geq 62.1 \\ 1, \, h_0 < 62.1 \end{cases}$$
이다.(α 와 h_0 은 각각 경사도와 태양고도각)

2) 논발로양의 지력점수평가

토양학적지표들을 무비료소출에 주되고 보편적인 영향을 주는 기본요인들과 부차적이고 특수한 영향을 주는 보조요인들로 가르고 기본요인들의 종합점수와 보조요인들의 소출 곁수를 결정한 다음 다음식으로 지력점수를 평가하였다.

$$K_{\text{Alg}} = K_{\text{Jl}} \times K_{\text{LL}}$$

여기서 $K_{\text{기력}}$ 은 토양의 지력점수, $K_{\text{기본}}$ 은 기본요인들의 종합점수, $K_{\text{보조}}$ 는 보조요인들의 소출곁수이다.

기본요인들로는 토양류형, 알갱이조성, 토심, 토양산도, 부식함량을 설정하였고 보조요 인들로는 논에서는 랭습관계, 특수피해, 돌자갈함량, 수리조건, 기계화조건을, 밭에서는 경 사도, 음양관계, 건습관계, 특수피해, 돌자갈함량을 설정하였다.

 $K_{7!}$ 본은 다음식에 의하여 결정하였다.

$$K_{7|\, \stackrel{!}{\leftarrow}} = \sum_i a_i \times K_i$$

여기서 $K_{7/2}$ 은 기본요인들의 종합점수, K_i 는 i번째 요인의 요인점수, a_i 는 i번째 요인의 무게결수이다.

 $K_{\rm 7/2}$ 은 모든 기본요인들이 농작물생육에 제한요인으로 작용하지 않을 때 1이고 그렇지 않을 때 1보다 작은 정수값을 가진다.

요인점수는 토양류형이나 알갱이조성과 같은 질적지표인 경우 선행한 시험자료를 통한 소출비률로, 토심이나 토양산도, 부식함량과 같은 량적지표인 경우에는 선행방법[2]에 준하여 회귀식을 리용하여 정하였다.(표 2-6)

표 2. 논토양류형에 따르는 요인점수

토양 류형	갈색논, 하성충적지논, 해하성충적지논	골짜기충적지논	염해간석지논, 진펄논	골짜기논	해안모래논, 비정상논
점수	1	0.9	0.8	0.7	0.5

표 3. 발로양류형에 따르는 요인점수

토양 류형	갈색(적갈색, 고풍화충)밭, 하성(해하성)충적지밭			해안모래밭, 표백화 갈색밭, 비정상밭	부석충밭
점수	1	0.8	0.6	0.4	0.3

표 4. 논로양류형별 알갱이조성에 따르는 1	t 4. 폰도앙뉴엉i	3 알갱이소싱에	따드는	요인심수
--------------------------	-------------	----------	-----	------

토양류형	질흙	질메 흙	메흀	모래 메 흙	모래흙	_
해하성충적지논, 하성충적지논, 진펼논	1	1	0.85	0.7	0.55	_
갈색논, 고풍화충논, 적갈색논, 골짜기 충적지논, 해안모래논, 비정상논	0.9	1	0.85	0.7	0.55	

표 5. 발로양의 알갱이조성에 따르는 요인점수

알갱이조성	질흙	질메흙	메흜	모래메흙	모래흙
점수	0.8	0.9	1	0.8	0.5

표 6. 논발로양에서 로심, 로양산도, 알갱이조성에 따르는 요인점수평가모형

	논토양		밭토양
지표	요인점수평가모형	지표	요인점수평가모형
토심	$K_{\text{EA}} = -0.000 \ 2x^2 + 0.027 \ 8x + 0.11$	토심	$K_{\text{EA}} = -0.000 \ 5x^2 + 0.051x - 0.3$
/cm	$(x \ge 50 \text{ 이면 } x = 50)$	/cm	$(x \ge 50 \text{ 이면 } x = 50)$
토양 산도	$K_{\text{AF}} = -0.051 \ 1x^2 + 0.613x - 0.838 \ 4$	토양 산도	$K_{\text{AF}} = -0.078 \ 1x^2 + 0.982 \ 7x - 2.075$
부식 함량/%	$K_{\frac{11}{7}\frac{3}{4}} = -0.142 \ 9x^2 + 0.712 \ 9x + 0.145 \ 3$	부식 함량/%	$K_{+4} = -0.271 \ 4x^2 + 1.140 \ 7x - 0.195 \ 5$

토양류형, 알갱이조성, 토심, 산도, 부식함량과 같은 기본요인들이 소출에 기여하는 상 대적인 몫이 각이한것으로 하여 선행한 소출시험자료들로부터 무게결수를 다음과 같이 정 하였다.

표 7. 논과 발에서 기본요인들의 무게결수

지목	토양류형	알갱이조성	토심	산도	부식함량
논	0.20	0.30	0.25	0.10	0.15
밭	0.15	0.25	0.3	0.15	0.15

보조요인들의 소출곁수는 다음식에 의하여 결정하였다.

$$K_{\frac{1}{2}} = \prod_{i=1}^{5} K_i$$

여기서 Ki는 i번째 보조요인의 소출지수이다.

보조요인으로는 논의 경우에 랭습관계, 특수피해, 돌자갈함량, 수리조건, 기계화조건을 설정하였고 밭의 경우에 경사도, 음양관계, 건습관계, 특수피해, 돌자갈함량을 설정하였다.

소출지수는 보조요인에 의하여 낮아지는 소출비률로서 선행한 소출시험자료들로부터 선행방법[2]에 준하여 다음과 같이 정하였다.

논에서 보조요인의 수준별 소출지수평가모형

랭습관계에 따르는 지수:
$$K_{
m gla}=1-(1-R_{
m gla}) imes rac{S_{
m gla}}{S_{
m wad}}$$

여기서 $S_{
m vi}$ 은 랭습받는 면적, $S_{
m Zd}$ 은 포전면적, $R_{
m vi}$ 은 랭습피해를 받는 면적에서 낮아지는 소출비률(0.8)이다.

특수피해에 따르는 지수: $K_{\frac{6}{7}} = 1 - \frac{R_{\frac{6}{7}}}{8000}$

여기서 $R_{특수}$ 는 특수피해로 낮아지는 소출량이다.

돌자갈함량에 따르는 지수: $K_{\frac{5}{2}} = 1 - 0.000 \ 3x^2 - 0.005 \ 8x$ 여기서 x는 돌자갈함량(%)이다.

수리조건에 따르는 지수($K_{\text{수리}}$): 안전답 1, 물부족 0.8, 천수답 0.6 기계화조건에 따르는 지수: $K_{\text{기계}}=1-0.000~4x^2~-~0.004~3x$ 여기서 x는 경사도이다.

밭에서 보조요인들의 수준별 소출지수평가모형

상습지, 계절습지관계에 따르는 지수: $K_{\hat{\mathbf{d}}} = 1 - (1 - R_{\hat{\mathbf{d}}}) \frac{S_{\hat{\mathbf{d}}}}{S_{_{_{}}}}$

여기서 $S_{\dot{\text{a}}}$ - 습해받는 면적, $S_{\text{포전}}$ - 포전면적, $R_{\text{랭}\dot{\text{a}}}$ - 습해받는 면적에서 낮아지는 소출비률(계절습지인 경우 0.8, 상습지인 경우 0.6)이다.

특수피해에 따르는 지수: $K_{\frac{6}{4}} = 1 - \frac{R_{\frac{6}{4}}}{8000}$

여기서 $R_{특수}$ 는 특수피해로 낮아지는 소출량(kg/정보)이다.

돌자갈함량에 따르는 지수: $K_{\rm E}=1-0.000~35x^2-0.006~18x$ 여기서 x는 돌자갈함량(%)이다.

음양관계에 따르는 지수($K_{음양}$): 양지 1, 음양지 0.9, 음지 0.8 경사도에 따르는 지수: $K_{기계}=1-0.001\ 2x^2-0.000\ 07x$ 여기서 x는 경사도이다.

3) 무비료소출능력평가와 적합성검정

토지의 무비료소출능력은 다음식에 의하여 평가하였다.

$$Y_{무비} = Y_{기후} \cdot K_{지력}$$

여기서 Y_{PH} 는 토지의 무비료소출능력이고 $Y_{기후}$ 는 농작물생육모의에 의한 기후학적생산잠 재력이며 $K_{N=0}$ 은 토양의 지력점수이다.

무비료소출능력평가결과의 적합성검정은 2013-2018년까지 6년간의 도별 논벼, 강냉이 실소출자료와 무비료소출능력과의 상관곁수를 계산하는 방법으로 진행하였다.(표 8)

도별	논	밭	도별	논	밭
평양시	0.932	0.482	강원도	0.701	0.913
평안남도	0.962	0.799	함경남도	0.727	0.595
평안북도	0.960	0.949	함경북도	0.835	0.819
자강도	0.781	0.859	량강도	0.909	0.880
황해남도	0.984	0.890	남포시	0.895	0.526
황해북도	0.975	0.594	평균	0.878	0.683

표 8. 실소출과 무비료소출능력과의 상관분석결과

표 8에서 보는바와 같이 실소출과 무비료소출능력과의 상관곁수는 논에서 평균 0.88, 밭에서 평균 0.68로서 높았다.

이로부터 우리는 농작물생육모의에 의한 토지의 무비료소출능력평가방법이 토지의 생 산성을 비교적 정확히 나타낼수 있다고 본다.

맺 는 말

토지의 무비료소출능력을 농작물생육모의에 의하여 평가하는 경우 실소출과 무비료소출능력사이의 상관성을 높일수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 생명과학, 64, 2, 132, 주체107(2018).
- [2] 정봉남; 다변량해석총서 1, 과학백과사전종합출판사, 11~30, 1988.
- [3] Jinjin Cheng et al.; Soil & Tillage Research, 155, 225, 2016.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Method to Evaluate the Fertilizer-Free Yield Capacity of the Land by Simulation of the Crop Growth

Ryu Chol Song, Kim Kwang Yon and Han Sun Ok

The correlation between the real yield and the fertilizer-free yield capacity can be enhanced when the fertilizer-free yield capacity of the land is evaluated by simulation of the crop growth.

Key words: simulation, yield capacity