

水分障礙時 牧草 發芽特性 및 累積 發芽率 曲線 豫測을 위한 Sigmoid 函數들 間의 比較

李錫河 · 尹淳康 · 白城凡 · 朴炫龜*

Comparison of Germination Characteristics, and of Logistic and Weibull Functions to Predict Cumulative Germination of Grasses Under Osmotic Water Stress

Suk-Ha Lee, Sun-Gang Yun, Seong-Bum Baek, and Hyun-Gu Park*

Summary

The germination of seeds is developmentally complex process requiring water uptake, which is regulated by both genotypic and environmental factors. The present study was undertaken to determine the difference in germination characteristics, and to compare the ability of the logistic and Weibull functions to describe the cumulative germination curve when two levels of osmotic potential(0, -5 bar) were put to seeds of alfalfa, tall fescue, orchardgrass, and Kentucky bluegrass. The effects of grass type, osmotic potential, and their interaction on the total germination and coefficient of germination velocity were significant($P < 0.01$). The Weibull equation for predicting percent cumulative germination curve of alfalfa had significantly lower residuals than the logistic equation regardless of osmotic potential($P < 0.01$), indicating that the Weibull equation was more efficient than the logistic equation to fit the data of the percent cumulative germination of alfalfa. The rate parameter from the logistic equation was decreased under water stress, whereas the scale and shape parameters were increased. There were significant differences in days to 20% germination estimated from the logistic and Weibull equations.

I. 緒 論

種자의 出現率 向上 및 定着 個體數의 確保는 성공적인 草地造成의 밑받침이라 할수 있으며, 이는 種子 發芽 特性 過程을 이해함에 따라 부분적으로 해결 될 수 있다. 종자의 발아는 종자 자체의 遺傳的인 특성과³⁾, 土壤水分狀態, 溫度, 酸素供給 및 病蟲害등의 環境的인 특성에 의하여 결정되는데, 이 가운데 특히 土壤水分은 발아를 위한 첫 단계인 종자의 水分吸收에 영향을 미치며^{6,8)}, 종자내의 생리적인 대사 過程을 活性化 하는데 중요한 要因이라 할 수 있다.

발아는 土壤水分 狀態 뿐만아니라, 종자와 토양수분의 접촉면적⁴⁾ 및 硬化土壤 皮膜 強度(soil crust strength) 등에⁵⁾ 의하여 反應하는 양상이 매우 다양하

다. 이와같이 토양조건에서 발아시험의 難點때문에 polyethylene glycol(PEG)이나 mannitol 같은 滲透壓 調節劑를 이용하여 발아 特性을 비교하는 研究가 많이 시도 되었다.^{9,11)}

한편, 종자의 발아특성을 수치화하기 위하여 發芽率, 發芽速度係數등을 조사 하였으나, 발아양상을 추정하는데는 한계점을 가지고 있어 새로운 方法이 시도되고 있다. 종자의 累積 發芽率의 경시적으로 變化 曲線은 일반적으로 S-형으로, 초기 水分吸收기간에 발아율이 낮은 lag period, 水分吸收후 發芽가 급격히 진행되는 exponential period, 發芽 終了後 plateau 세 가지 주요단계로 구분되어지며, 이와같은 生長曲線을 推定, 數值化 하기 위하여 logistic 및 Weibull 함수가 주로 이용되어 왔다.^{1,2,7)} Bahler 등은 온도변화에 따

畜産試驗場(Livestock Experiment Station, Suwon 441-350, Korea)

* 全南 寶城郡 農村指導所(Rural Extension Office, Bosung 546-800, Korea)

큰 알팔파 종자의 품종간 累積 發芽率 특성을 Weibull 함수의 形狀(shape) 및 規模(scale)係數에 의하여 분류 가능하였으나, logistic 함수의 比率係數(rate parameter)로서는 품종간 차이를 認知할 수 없었다.¹⁾

따라서 본 실험은 水分障礙시 牧草種子들의 발아 양상을 檢定하기 위하여 alfalfa 의 3초종을 공시하고 삼투압 0 및 -5 bar 두 수준하에서 발아특성을 검토 하고, 경시적인 累積 發芽率의 변화곡선을 logistic 및 Weibull 함수를 이용, 非線型回歸方法으로 係數들을 추정, 비교 하였다.

II. 材料 및 方法

공시초종은 현재 우리나라의 草地造成時에 많이 이용되고 있는 tall fescue, orchardgrass, Kentucky bluegrass 및 alfalfa로서 그 품종은 각각 Fawn, Potomac, Kenblue 및 Vernal이었으며, 이들 초종의 종자를 相異한 滲透壓조건으로 조절된 용액하에서 발아시험을 실시하여 累積 發芽率을 조사 하였다.

처리액의 滲透壓은 mannitol을 이용하여 對照(蒸溜水, 0 bar), -5 bar 두 수준으로 조절하였으며, 처리액의 濃度는 Van't Hoff 관계식으로부터 계산하였으며, -5 bar 수준의 경우 1L 蒸溜수에 36.75gr을 溶解하였고, 그 식은 다음과 같다.

$$\psi_s = -RTD_w m$$

ψ_s : osmotic potential

R : gas constant

T : Kelvin temperature

D_w : density of water

m : molal concentration.

발아시험은 Petri dish에 여과지(Whatman No. 1)를 깔고 종자를 100립씩 치상한 후, 종자가 수분을 흡수 하더라도 처리액의 滲透壓 변화가 없도록 충분히 分注하여 10反復으로 실시하였으며, 25°C 항온, 暗 狀態에서 15일 동안 발아시켜, 幼根이 3mm이상 伸張하였을 때 발아된 것으로 간주하여 매일 오후 1시에 발아 개체수를 조사 하였다.

발아시험동안 實測된 발아율로부터 얻어진 累積 發芽率 曲線의 豫測은 sigmoid형인 logistic 및 Weibull 함수를 이용하여(표1) 각 함수의 계수를 추정 비교 하였는데, 統計分析은 SAS의 PROC NLIN의 DUD

computation 방법을 사용하였다.¹⁰⁾

Table 1. Sigmoid functions used to predict cumulative germination curves of seeds.

| Function | Equation |
|----------|---|
| Logistic | $Y = D / (1 + E \times P(B - GT))$ |
| Weibull | $Y = D / (1 - E \times P(-(T - A) / B)^{**} C)$ |
| | Y; cumulative germination |
| | B; intercept |
| | G; rate parameter |
| | A; time of earliest germination occurrence |
| | B; scale parameter |
| | C; shape parameter |
| | D; total germination |
| | T; time |

發芽力 評價는 發芽速度係數(coefficient of germination velocity: CGV)를 이용하였으며 그 算出 方法은 다음과 같다.

$$CGV = 100 \times (\sum A_i / \sum A_i T_i)$$

A : the number of seeds germinating

T : time corresponding to A.

III. 結果 및 考察

치상후 15일 동안의 總 發芽率을 살펴보면 (표2), 처리액의 水分 滲透壓간 有意的인 差異를 나타내었으며, 草種 및 水分 滲透壓간의 相互作用 效果가 認定되어, 草種에 따라 水分 滲透壓 처리에 따른 총 발아율 반응 양상이 차이가 있었다. 두과인 alfalfa가 삼투압 수준에 관계없이 총발아율의 높은 반면, Kentucky bluegrass와 orchardgrass는 낮았고, -5 bar의 水分障礙에 의하여 대조구(0 bar)대비 총 발아율이 크게 減少되었다.

累積 發芽率의 경시적인 변화는 그림 1에서 보는 바와같이, alfalfa는 치상후 3일째에 수분 삼투압 처리에 관계없이 누적 발아율의 최고점에 도달하는 반면, orchardgrass와 Kentucky bluegrass는 치상후 4일째부터 발아가 시작되었으며, 수분 장애시 발아가 遲延되었고, tall fescue는 alfalfa와 그의 다른 草種들의 중간적인 특성을 가지고 있었다. 실제로 圃場에서 alfa-

Table 2. Total germination of grasses as affected by osmotic potential.

| | 0 Bar | -5 Bar |
|-----------------------|---------------|---------|
| | ----- % ----- | |
| AF | 87.2 | 85.4 |
| TF | 84.6 | 67.5 |
| KBG | 48.3 | 6.9 |
| OG | 59.4 | 13.1 |
| | F-value | LSD. 05 |
| Grasses(G) | 339.59** | 4.087 |
| Osmotic Potential(OC) | 400.93** | 2.890 |
| G*OC | 52.29** | 5.780 |

lfa와 牧草種子를 함께 걸뿌림 하였을때 alfalfa가 타 목초보다 빨리 발아하는 양상과 일치 하였다. 또한 Kentucky bluegrass나 orchardgrass 보다 종자 크기가 큰 tall fescue가 발아정도가 좋아서 종자 크기가 발아를 위하여 필수적인 水分吸收過程, 혹은 배유내에

貯藏된 養分이 많아 발아에 필요한 에너지 供給過程上 有利한 特性이 있는지 검정할 必要가 있다고 생각 된다.

滲透壓에 따른 공시 초종들의 發芽速度係數를 살펴 보면(표3), -5 bar에서는 공시된 모든 초종들이 대 조구에 비하여 감소하여 발아가 遲延되는 경향이였으며, 초종간에도 유의적인 차이가 인정되어, 荳科인 alfalfa가 禾本科인 다른 초종들에 비하여 삼투압수준에 관계없이 發芽速度係數가 높았다. 따라서 發芽速度係數는 累積 發芽率의 경시적인 變化양상(그림1)과 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

삼투압 0, -5 bar 수준하에서는 牧草의 누적 발아율의 경시적인 變化를 sigmoid형태인 logistic 및 Weibull 函數를 이용하여 豫測, 각 函數간을 非線型回歸 殘差 分析結果(표4), 삼투압 수준에 관계없이 tall fescue, Kentucky bluegrass 및 orchardgrass는 Weibull 함수와 logistic함수의 차이가 없었다. 한편 alfalfa에서는 0, -5 bar의 두 수준에서 각각 두 함수들간의 차이가 認定되었으며 Weibull 함수로부터 推定된 分析

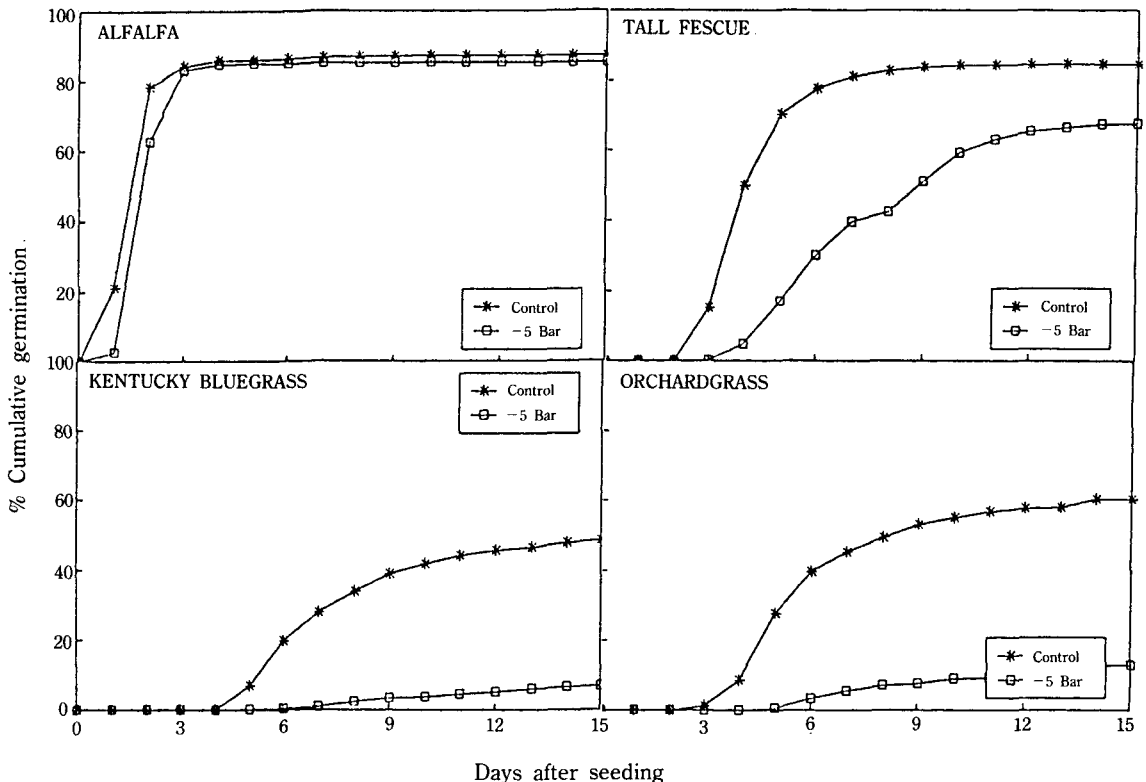


Fig. 1. The effects of osmotic potential on the percent cumulative germination.

Table 3. Coefficient of germination velocity of grasses as affected by osmotic potential.

| | 0 Bar | -5 Bar |
|-----------------------|-----------|---------|
| AF | 0.5158 | 0.4408 |
| TF | 0.2198 | 0.1345 |
| KBG | 0.1298 | 0.1025 |
| OG | 0.1600 | 0.1113 |
| | F-value | LSD. 05 |
| Grasses(G) | 2192.26** | 0.0102 |
| Osmotic Potential(OC) | 266.08** | 0.0072 |
| G*OC | 13.28** | 0.0148 |

殘差가 logistic 함수보다 적었다. 따라서 alfalfa의 누적 발아율 곡선을 추정하기 위해서는 Weibull 함수가 logistic 함수보다 效率인 것으로 나타나서 Bahler등(1989)이 온도에 따른 alfalfa의 누적 발아율 곡선의 경시적인 변화를 추정한 결과와 잘 일치되었다.

0 bar에서 alfalfa의 累積 發芽率 양상을 실측치와 logistic 및 Weibull 함수에 의하여 豫測하여 보면(그

림 2), 초기 누적 발아율이 급격히 증가 하였던 치상 후 3일째에 Weibull 函數에 의한 예측치와 실측치가 잘 일치하는 반면, logistic 函數에 의한 예측치가 실측치에 비하여 그 差異가 심하였다. -5 bar수준에서도 동일한 결과가 인정되어 최고누적 발아율에 到達하는 초기점을 추정하고자 할때는 Weibull함수를 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

Weibull 및 logistic 함수를 이용, 非線型 回歸方法에 의해 推定된 公式을 이용하여 계산된 20% 發芽到達日數는(표5), 일반적으로 0 bar 수준에서는 Weibull 함수에 의한 값이 logistic 함수에 의한 값보다 큰 傾向이었으나, -5 bar 수준에서는 적은 傾向이었으며, Kentucky bluegrass와 orchardgrass는 총 발아율이 20%에 미치지 못하여 구할 수 없었다. 20% 發芽率 到達을 위해서는 Kentucky bluegrass와 같이 發芽 遲延程度가 큰 草種은 0 bar 수준에서 6.5일정도, orchardgrass는 5일정도의 時間이 걸렸다. alfalfa는 0 bar에서 1일정도의 時間이 걸렸으나 水分障礙 상태인 -5 bar에서 logistic 및 Weibull 함수로 추정하여 보면 각각 0.52일, 0.29일이 지연되어, 지연정도가 logistic 함

Table 4. Comparison of the modified Weibull and logistic functions using analysis of residuals.

| Grass | Source | 0 Bar | | | -5 Bar | | |
|-------|----------|-------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | | df | SS | F | df | SS | F |
| AF | Logistic | 13 | 11.04 | 18.40** | 13 | 4.83 | 7.43** |
| | Weibull | 12 | 0.60 | | 12 | 0.65 | |
| TF | Logistic | 13 | 67.21 | 0.56 | 13 | 126.09 | 1.76 |
| | Weibull | 12 | 118.98 | | 12 | 71.75 | |
| KBG | Logistic | 13 | 73.41 | 0.50 | 13 | 1.34 | 1.26 |
| | Weibull | 12 | 145.48 | | 12 | 1.06 | |
| OG | Logistic | 13 | 158.95 | 0.37 | 13 | 10.65 | 1.39 |
| | Weibull | 12 | 427.55 | | 12 | 7.64 | |

Table 5. Days to 20% germination estimated from nonlinear regression of Weibull and logistic functions.

| | Logistic | | Weibull | |
|-----|----------|--------|---------|--------|
| | 0 Bar | -5 Bar | 0 Bar | -5 Bar |
| AF | 0.97 | 1.49 | 1.00 | 1.29 |
| TF | 3.14 | 5.50 | 3.18 | 5.41 |
| KBG | 6.43 | - | 6.69 | - |
| OG | 4.75 | - | 5.13 | - |

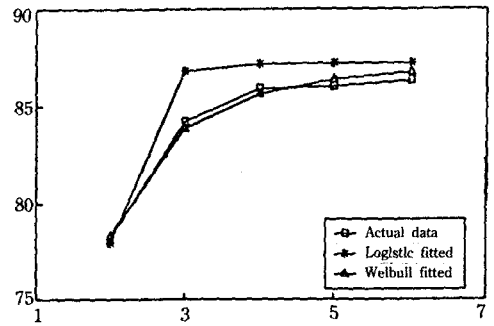
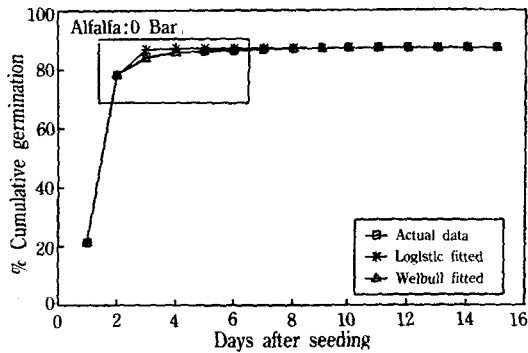


Fig. 2. Actual % cumulative germination and fitted values.

수에 의해 높게 나타났다.

20% 發芽率 到達 日數에 대한 分散分析 結果는 (표 6) 函數간, 草種간 및 滲透壓 水準間 有意的인 差異가 認定되었으며 草種 및 滲透壓 水準間의 相互作用效果도 있었다. 그러나, 함수와 삼투압 수준 및 초종간 상호작용 효과가 인정되지 않았기 때문에 非線型 回歸에 의한 殘差가 alfalfa의 Weibull 함수에서 적다는 점을 고려하여 보면, 공시 초종들의 초기 발아율 도달 일수를 추정시에는 Weibull 함수가 유리하다고 생각되었다. 따라서 -5 bar 수분 처리시 20% 發芽率 到達 지연 정도는 logistic 함수의 0.52일 보다는 Weibull 함수의 0.29일이 더 正確한 表現이라고 생각된다.

Weibull 및 logistic 함수로부터 非線型 回歸에 의하여 推定된 係數는 표 7과 같다. logistic 함수의 비율계수(rate parameter)는 초기의 發芽速度를 나타내는 지수로서 alfalfa를 제외한 모든 초종에서 -5 bar 滲透壓 處理에 의하여 대조구 대비 減少하였다. alfalfa는 0 bar수준에서 처상후 1일째 20% 發芽率을 보였으나, -5 bar에서는 거의 발아가 이루어지지 않았으며, 3일째에는 대조구에 비하여 총발아율에 거의 차이가

없이 水分障壁 處理에 따라 1일 정도의 수분 흡수만이 지연 되었으며, 총발아율이 다른 초종에 비해 總發芽率이 影響을 주지 않았기 때문에 alfalfa의 logistic 比率係數가 增加하였을 것으로 思料된다. 한편 Weibull 함수로 추정된 規模係數(scale parameter)와 形狀係數(shape parameter)는 그들간의 상호작용에 의하여, 최고 발아율에 도달 하는데 걸리는 시간을 예

Table 6. Analysis of variance for days to 20% germination.

| | D20 | |
|-----------------------|-----|-----------|
| | df | F-value |
| Functions(F) | 1 | 14.16** |
| Grasses(G) | 3 | 1281.88** |
| Osmotic Potential(OC) | 1 | 769.05** |
| F*OC | 3 | 1.11** |
| F*OC | 1 | 1.21** |
| G*OC | 2 | 612.51** |
| F*G*OC | 2 | 2.99** |

Table 7. Parameters estimated from nonlinear regression of Weibull and logistic functions.

| Grass | Logistic | | Weibull | | | |
|-------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | Rate(G) | | Scale(B) | | Shape(C) | |
| | 0 Bar | -5 Bar | 0 Bar | -5 Bar | 0 Bar | -5 Bar |
| AF | 3.26 | 4.31 | 0.21 | 0.91 | 0.52 | 1.52 |
| TF | 1.59 | 0.65 | 3.46 | 6.68 | 2.86 | 2.52 |
| KBG | 0.77 | 0.57 | 7.33 | 9.69 | 2.47 | 3.29 |
| OG | 0.83 | 0.52 | 6.39 | 8.51 | 2.09 | 2.39 |

측할 수 있는바, alfalfa가 다른 초종에 비하여 그 값들이 낮아, 일찍 최고 발아율에 도달하는 것을 알 수 있다. tall fescue는 다른 초종들과는 달리 形狀係數가 대조구대비 -5 bar 수준에서 감소 하였으나, 規模係數의 증가분이 커서 발아지연을 나타내었다. 따라서 초종간 누적 발아율의 경시적인 변화를 비교하는데 있어 이와같은 계수들의 變化 樣相은 초종간, 삼투압 수준간 구분가능한 유용한 지표가 될 것으로 생각된다.

IV. 摘 要

水分 障礙시 牧草 發芽 特性을 檢討하기 위하여, 滲透壓 0, -5 bar 두 수준에서 tall fescue, orchardgrass, Kentucky bluegrass 및 alfalfa의 總 發芽率, 發芽速度係數를 구하였으며, 累積 發芽率의 경시적인 변화를 logistic 및 Weibull 함수를 이용하여 非線型 回歸 殘差에 의하여 함수간 비교를 하였고, 각 함수로부터 추정된 계수를 조사 하였던바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 滲透壓 수준 -5 bar에서 대조구 대비 總發芽率は 減少, 發芽速度係數는 減少하였으며, alfalfa는 다른 草種에 비하여 그 變化程度가 적었다.
2. 非總型回歸殘差 分析에 의하면 tall fescue, Kentucky bluegrass 및 orchardgrass는 滲透壓 조건에 관계없이 logistic과 Weibull 함수간에 차이가 없었으나, Weibull 함수에 의한 alfalfa의 累積 發芽率 曲線推定시 分析殘差가 logistic 함수보다 적었다.
3. 각 함수로부터 20% 發芽率 到達 日數를 推定한바, 水分障礙에 의한 발아지연을 감지할 수 있었으며 함수들간의 유의적인 차이가 인정되었다.
4. logistic 함수로부터 추정된 比率係數는 alfalfa를 제외한 전 초종에서 水分障礙에 의해 減少되었고, Weibull 함수로부터 추정된 規模 및 形狀 係數는 일반적으로 增加하는 경향이었다.

V. 引用文獻

1. Bahler, C., R. R. Hill, Jr., and R. A. Byers. 1989.

Comparison of logistic and Weibull functions: The effect of temperature on cumulative germination of alfalfa. *Crop Sci.* 29: 142-146.

2. Bonner, F. T. and T. R. Dell. 1976. The Weibull function: A new method of comparing seed vigor. *J. Seed Technol.* 1: 96-103.

3. 조충섭, 김동암. 1991. 수입목초 및 사료작물 종자의 품질에 관한 조사연구. *한초지* 11(2): 68-75.

4. Collis-George, N. and J. B. Hector. 1966. Germination of seeds as influenced by matric potential and by area of contact between the seed and soil water. *Aust. J. Soil Rea.* 4: 145-164.

5. Hanks, R. J. and F. C. Thorp. 1957. Seedling emergence of wheat, corn, grain sorghum, and soybeans as influenced by soil crust strength and moisture content. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 21: 357-359.

6. Heatherly, L. G. and W. J. Russell. 1979. Effects of soil water potential of two soils on soybean emergence. *Agron. J.* 71: 980-982.

7. Hsu, F. H., C. J. Nelson, and W. S. Chow. 1984. A mathematical model to utilize the logistic function in germination and seedling growth. *J. Exp. Biol.* 35: 1629-1640.

8. Hunter, J. R. and A. E. Erickson. 1952. Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agron. J.* 44: 107-109.

9. 허삼남. 1990. 삼투압조절이 Italian ryegrass와 수수종자의 발아에 미치는 영향. *한초지* 10(3): 121-128.

10. SAS Institute. 1985. SAS user's guide: Statistics. 6.03 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

11. 윤세형. 1990. Polyethylene glycol을 이용한 모의 토양수분 조절방법이 목초의 발아에 미치는 영향과 유효성. *한초지* 10(2): 70-76.