

Original Article

Analysis of Safety Wind Speed and Snow Depth for Single-Span Plastic Greenhouse according to Growing Crops

Jong-Won Lee*

재배작물별 단동비닐하우스의 안전풍속 및 적설심 분석

이종원*

경북대학교 농업과학기술연구소

Abstract

This study supplies basic data to develop a greenhouse model for reducing the damage to single-span greenhouses caused by strong winds and heavy snow. Single-span plastic greenhouses are predominantly used for growing crops in Korea. Thus, the safety wind speeds for single-span greenhouses were calculated and compared with the actual wind speeds and snow depths over a period of 8 years in different regions to analyze the structural safety of single-span greenhouses. The unit wind load and unit snow load were applied to different designs of single-span greenhouse according to the cultivated crop to achieve a structural analysis. As a result, the maximum section force for the wind and snow load was greatest for leaf and root vegetables, where the safety wind speeds for single-span greenhouses according to the cultivated crop were 17.7 m/s(leaf vegetables), 20.2 m/s (fruit vegetables), and 22.3 m/s (root vegetables). Thus, the single-span greenhouses were not found to be safe for the wind load in most regions, except for Hongcheon, Icheon and Sungju. Plus, the safety snow depths for single-span greenhouses according to the crop were 8.8 cm (leaf vegetables), 9.4 cm (fruit vegetables), and 11.8cm (root vegetables). Thus, when comparing the safety snow depths with the actual snow depths, the single-span greenhouses were not found to be safe. Therefore, to improve the safety of single-span greenhouses, the structures need reinforcement by reducing the interval between rafters or increasing the size of the pipes. However, additional research is needed.

Keywords : Growing crops, Single-span plastic greenhouse, Snow depth, Structural safety, Wind speed

서론

2010년말 기준으로 국내의 원예시설 설치면적은 51,829 ha에 이르고 있으며, 이 가운데 채소를 재배하고 있는 원예시설은 48,835 ha(유리온실 207 ha, 비닐하우스 48,467 ha, 경질 환온실 98 ha)이고 화훼를 재배하는 원예시설은 2,994 ha(유리온실 72.7 ha, 비닐하우스 2,708.5 ha, 경질 환온실 212.8 ha)이다 (MIFAFF 2011). 이러한 원예시설 중 전체면적의 89 %인 43,886 ha가 비가림 시설을 포함한 단동 비닐하우스이다. 국내 원예시설의 대다수를 차지하고 있는 단동 비닐하우스(터널형 및 비가림 시설 포함)는 시공의 간편성과 시설비의 저렴성으로 인하여 농가에서 선호하고 있으나 구조의 경량성으로 인하여 기상재해에 취약한 실정이다. 따라서 국내에서는 매년 한두 차례의 기상재해를 겪고 있으며, 최근 2001년~2007년 동안 태풍과 폭설에 의한 비닐하우스 피해면적은 각각 3,740 ha, 8,516 ha에 이른다(Jeon 2009). 이러한 피해는 막대한 재산손실 이외에도

시설영농의 생산기반 파괴에 직접적인 영향을 주는 중요한 요인이므로 온실구조 안전에 관한 체계적이고 종합적인 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 원예시설 면적의 다수를 차지하고 있는 소형 비닐하우스의 구조안전성을 검토하여 기상재해에 따른 피해를 경감시킬 수 있는 대안이 시급히 요청되고 있는 실정이다. Lee et al. (2002 and 2003)은 국내에 설치되어 있는 단동 비닐하우스의 대표적인 구조유형을 분석하기 위하여 전국 32개 지역을 대상으로 재배작물에 따른 단동 비닐하우스의 구조상태를 조사한 바 있다. 이 조사결과에 따르면, 국내에 설치되어 있는 단동 비닐하우스의 단면형상은 재배작물에 관계없이 아치형과 복숭아형이 대부분이었으나 온실의 폭, 처마높이 및 지붕높이는 재배작물에 따라 상이한 것으로 나타났다. 그리고 구조물의 설계 시 고려되는 설계하중에서 중요한 인자는 풍하중 및 적설하중이며, 이러한 기상하중은 지역별, 재현기간별로 상이하게 나타난다. 따라서 국내에 설치

Received: December 12 2013 / Revised: December 22 2013 / Accepted: December 31 2013

*Corresponding Author: Jong-Won Lee, Tel. 82-53-950-6432, Fax. 82-53-950-6752, Email. leewon@knu.ac.kr

©2012 College of Agricultural and Life Science, Kyungpook National University

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, Provided the Original work is Properly cited.

되어 있는 단동 비닐하우스는 재배작물과 설치지역에 따라 규격이 상이하며, 온실의 규격에 따라서 구조의 안전성도 상이할 것으로 판단되어 본 연구는 재배작물별로 대표적인 온실규격을 선정하여, 선정된 온실규격에 대하여 안전풍속과 적설심 및 구조안전성을 분석하여 국내에 설치되어 있는 단동 비닐하우스의 기상재해로 인한 피해를 경감시킬 수 있는 모델 개발에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

재배작물별 단동 비닐하우스의 규격

Lee et al.(2002, 2003)의 연구결과에 따르면 국내에 설치되어 있는 단동비닐하우스의 단면형상은 재배작물에 관계없이 아치형과 복숭아형이 대부분이었으나 온실의 폭, 처마높이 및 지붕높이는 재배작물에 따라 상이한 것으로 나타났다. 엽채류와 과채류를 재배하는 온실의 폭은 5 m 미만과 5~7 m 범위에서 다양하게 나타났으나 근채류를 재배하는 온실의 폭은 5~6 m범위가 대부분인 것으로 나타났다. 온실의 지붕높이는 재배작물에 따라 2.2~2.4 m(엽채

류), 2.0~2.2 m(과채류), 2.4~2.6 m(근채류) 범위였고, 처마높이는 엽채류의 경우 1.0 m 미만은 없었으며 1.2~1.4 m 범위, 과채류 재배 온실은 1.0 m 미만과 1.0~1.4 m 범위였으며 근채류 재배 온실은 1.2~1.5 m 범위인 것으로 나타났다. 그리고 서까래 간격은 재배작물에 따라 0.8~1.1 m(엽채류), 0.7~1.2 m(과채류), 0.6~0.8 m(근채류) 범위였다. 따라서 재배작물별 단동 비닐하우스의 구조안전성을 검토하기 위한 대표적인 온실 규격은 평균값을 이용하여 Table 1과 같이 결정하였으며, 구조해석을 실시한 단동 비닐하우스에 사용된 골조재의 종류 및 기계적 성질은 Table 2와 같다. 비닐하우스는 내용연수가 비교적 짧고 인명피해에 대한 염려가 거의 없으며 적설하중과 풍하중이 단기하중으로 작용한다. 그리고 일반적으로 토목 및 건축재료로 사용되는 강재의 허용응력은 항복응력의 50%를 사용하고 있으며 단기하중인 경우에는 1/3까지 증가시켜 항복응력의 67%로 할 수 있다(Lee and Lee 1995). 따라서 본 연구에 사용된 비닐하우스용 아연도강판의 허용응력은 Table 2에서 보는 바와 같이 항복응력(2,200~2,600 kgf/cm²)의 평균값인 2,400 kgf/cm²의 67%인 1,600 kgf/cm²으로 하였다.

Table 1. Sizes and types of single-span plastic greenhouse according to crop

Crops	Types	Width (m)	Eaves Height (m)	Roof Height (m)	Rafter interval (m)	Buried depth (m)
Leaf vegetables	Gothic arch	5.48	1.37	2.55	1.06	0.4
Fruit vegetables	Gothic arch	5.62	1.14	2.30	0.99	0.4
Root vegetables	Arched	6.00	1.25	2.50	0.71	0.4

Table 2. Mechanical properties of structural pipes used in greenhouses

Diameter (cm)	Thickness (cm)	Section area (cm ²)	Section modulus (cm ³)	Modulus of elasticity (kgf/cm ²)	Yield strength (kgf/cm ²)
2.54	0.15	1.1263	0.6357	2.1×10 ⁶	2,200~2,600 (Average 2,400)

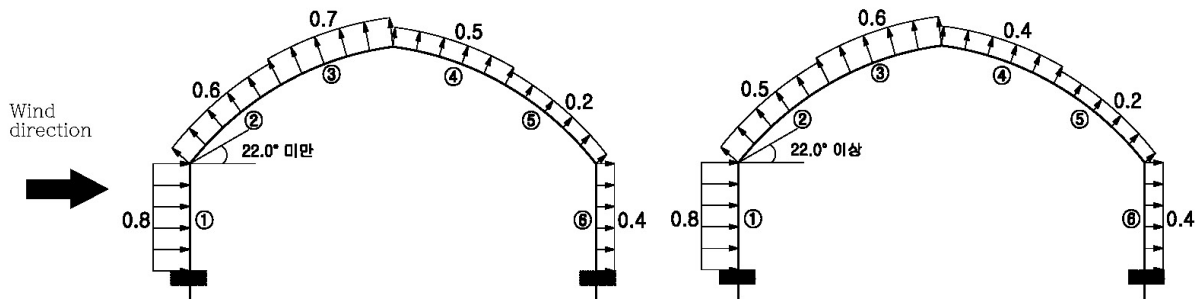


Figure 1. Distribution of wind force coefficients for greenhouses

구조해석 및 안전성 검토 방법

재배작물별 단동 비닐하우스의 대표적인 규격을 선정하여 온실 각 부위별 풍력계수를 고려하여 단위하중(1.0 kgf/cm)을 Figure 1 및 Figure 2와 같이 적용하여 단위 풍하중과 적설하중에 대한 최대단면력을 구하였다(Yoon et al. 2007). 구조해석 결과와 부재의 허용응력을 비교하여 구조물이 견딜 수 있는 안전풍속과 안전적설심을 구한 후 재현기간 8년(내용연수 5년, 안전율 50%)에 해당하는 지역의 설계풍속과 설계적설심을 비교하여 온실의 구조적 안전성을 검토하였다(Lee and Lee 1995; Lee et al. 1995). 그리고 단동 비닐하우스의 구조계산은 구조해석 전용 프로그램인 SAP2000으로 수행하였으며, 단위하중에 대한 최대 단면력을 구하여 재배작물별 단동 비닐하우스의 안전하중은 식 (1) 및 식 (2)에 의하여 환산하였다(Yoon et al. 2007).

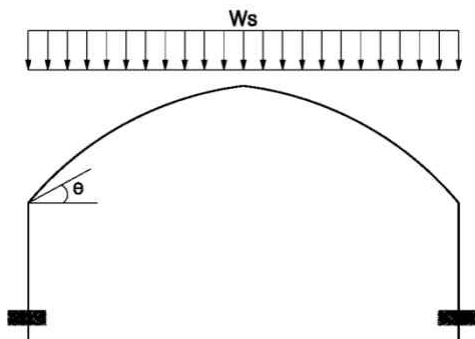


Figure 2. Distribution of snow load

$$0.0197v^2\sqrt{h} \times \frac{S}{100} \quad (1)$$

여기서, v :설계풍속, h : 온실 평균높이(m), S : 서까래 간격(m) 이다.

$$\rho \times D \times a \times \frac{S}{100} \quad (2)$$

여기서, ρ :적설의 단위체적중량(적설심 50 cm까지 1.0 kgf/cm³ 적용), D : 적설심(cm), a : 지붕경사에 따른 적설하중 절감계수(지붕경사 20~30°일 때 0.75 적용), S : 서까래 간격(m) 이다.

결과 및 고찰

재배작물별 단동 비닐하우스의 안전풍속

Table 3과 같이 각 부재에 발생하는 최대응력을 구하여 부재의 허용응력을 초과하지 않는 범위에서 비닐하우스가 견딜 수 있는 안전풍속을 구한 결과는 Table 4와 같다. 안전풍속은 과채류, 근채류, 엽채류 온실 순으로 크게 나타났으며 서까래의 간격이 클수록 안전풍속은 감소하는 것으로 나타났다.

지역별 설계풍속과 비교하기 위해서 시설의 표준 내용연수와 안전도로부터 결정되는 재현기간의 확률적인 값을 이용하여야 한다. 본 연구에서는 시설의 표준 내용연수를 5년(소형, 이동식 플라스틱하우스)으로 하고, 파이프 골조의 비닐하우스에 일반적으로 적용되는 안전율을 50%로 하여 재현기간 8년의 설계풍속을 적용하여 검토하였다(Lee and Lee 1995; Lee et al. 1995). 재현기간 8년의 설계풍속을 등급별로 구분하여 지역을 분류한 결과는 Table 5와 같다.

Table 3. Maximum section force of single-span greenhouses by unit wind load

Greenhouse types	Moment (kgf·m)	Reaction (kgf)	Axial force (kgf)	Shear force (kgf)
Leaf vegetables	-11,111.43	-139.12	139.12	-148.86
Fruit vegetables	-9,693.61	-144.16	141.42	-144.16
Root vegetables	-10,859.38	-151.42	151.42	-150.81

Table 4. Safety wind speed according to rafter interval (unit : m/s)

Greenhouse types	Rafter interval (S, cm)					
	60	70	80	90	100	110
Leaf vegetables	23.5	21.2	20.4	19.2	18.2	17.4
Fruit vegetables	26.0	24.1	22.5	21.2	20.2	19.2
Root vegetables	24.1	22.3	20.8	19.6	18.6	17.8

Table 5. Wind speed according to region over 8-year return period

Wind speed (m/s)	Regions
under 20	Hongcheon, Icheon, Seongju
20-25	Imsil, Namwon, Onyang, Hapcheon, Suwon, Hampyeong, Chungju, Yangpyeong, Jecheon, Geochang, Uiseong, Ganghwa, Sancheong, Samcheok, Buan, Buyeo, Inje, Jinju, Jeonju, Daejeon
25-30	Namhae, Haenam, Miryang, Gwangju, Chupungnyeong, Jangheung, Geoje, Mungyeong, Seoul, Seosan, Chuncheon, Daegu, Cheongju, Goheung, Seonsan, Daecheon, Yeongcheon, Yeongdeok, Boeun, Yeongju
30-35	Seongsanpo, Ulsan, Pohang, Jeju, Gangneung, Daegwanryeong, Seogwipo, Busan
35-40	Uljin, Gunsan, Mokpo, Sokcho, Chungmu, Incheon
40-45	Yeosu, Ulleungdo

재배작물별 단동 비닐하우스의 서까래 간격(엽채류 106 cm, 과채류 99 cm, 근채류 71 cm)을 고려하여 볼 때 분석모델은 8년 빈도의 풍하중에 대하여 홍천, 이천, 성주지역을 제외하고는 불안정한 것으로 나타나 보강대책을 강구해야 할 것으로 판단되며, 안전을 확보하기 위해서는 서까래 간격을 감소시키거나 부재의 단면 치수를 증가시키는 등의 대책이 필요한 것으로 나타났다.

재배작물별 단동비닐하우스의 안전적설심

단동 비닐하우스에 단위적설하중을 작용시켜 구조해석을 실시하여 최대 단면력을 구한 결과는 Table 6과 같다. 근채류 재배 온실의 최대 단면력이 가장 크게 나타났으며, 최대 휨모멘트를 제외한 최대 단면력은 온실의 지점에서 발생하였으나 최대 휨모멘트는 처마높이에서 발생하는 것으로 나타났다. 부재에 발생하는 최대 응력을 구하여 부재의 허용응력을 초과하지 않는 범위에서 비닐하우스가 견딜 수 있는 안전적설심을 구한 결과는 Table 7과 같다. 근채류 재배온실의 안전적설심이 가장 적었으며 서까래의 간격

이 클수록 안전적설심은 감소하는 것으로 나타났다. 지역별 설계적설심과 비교하기 위해서 시설의 표준 내용년 수와 안전도로부터 결정되는 재현기간의 확률적인 값을 이용하여야 한다. 시설의 표준 내용년 수를 5년(소형, 이동식 플라스틱하우스)으로 하고, 파이프 골조의 비닐하우스에 일반적으로 적용되는 안전율을 50%로 하여 재현기간 8년의 설계풍속을 적용하여 검토하였다(Lee and Lee 1995; Lee et al. 1995). 재현기간 8년의 설계적설심을 등급별로 구분하여 지역을 분류한 결과는 Table 8과 같다. 재배작물별 단동 비닐하우스의 서까래 간격(엽채류 106 cm, 과채류 99 cm, 근채류 71 cm)을 고려하여 볼 때 분석모델은 8년 빈도의 적설하중에 대하여 경남지역 일부를 제외하고는 불안정한 것으로 나타나 보강대책을 강구해야 할 것으로 판단된다. 안전을 확보하기 위해서는 서까래 간격을 감소시키거나 부재의 단면 치수를 증가시키는 등의 대책이 필요한 것으로 나타났다.

Table 6. Maximum section force of single-span greenhouses by unit snow load

Greenhouse types	Moment (kgf·m)	Reaction (kgf)	Axial force (kgf)	Shear force (kgf)
Leaf vegetables	14,584.33	306.17	-301.21	161.51
Fruit vegetables	14,366.29	306.76	-329.37	189.78
Root vegetables	16,480.88	333.46	-366.16	191.31

Table 7. Safety snow depth according to rafter interval (unit : cm)

Greenhouse types	Rafter interval (S, cm)					
	60	70	80	90	100	110
Leaf vegetables	15.5	13.3	11.6	10.3	9.3	8.5
Fruit vegetables	15.7	13.5	11.8	10.5	9.4	8.6
Root vegetables	13.7	11.8	10.3	9.1	8.2	7.5

온실 기초의 안전성

재배작물별 대표온실의 안전풍속 및 안전적설심에 따라 구조물에 걸리는 최대 인발력 및 최대 연직하중은 Table 9와 같다. Table 9에서 보는 바와 같이, 비닐하우스에 풍하중 및 적설하중 작용시 발생하는 최대 인발력과 최대 연직하중은 온실형태에 따라 다소 차이가 나타났으나 각각

요 약

국내에 설치되어 있는 원예시설 중 가장 많은 면적을 차지하고 있는 단동비닐하우스의 기상재해로 인한 피해를 경감시킬 수 있는 모델 개발에 필요한 기초자료를 제공하고 재배작물별로 대표적인 온실규격을 선정하여 안전풍속과 적설심을 구한 후 재현기간 8년에 해당하는 지역의

Table 8. Snow depth according to region over 8-year return period

Snow depth (cm)	Regions
under 5	Geoje
5~10	Busan, Chungmu, Ulsan, Goheung, Yeosu, Namhae, Miryang, Jinju
10~15	Pohang, Jangheung, Seongju, Yeongcheon, Haenam, Jeju, Seogwipo, Daegu, Hapcheon, Ganghwa
15~20	Seongsanpo, Uiseong, Sancheong, Seosan, Yeongdeok, Yangpyeong, Daejeon, Suwon, Hampyeong, Geochang, Seoul, Buyeo
20~25	Daecheon, Jeonju, Icheon, Onyang, Chungju, Jecheon, Hongcheon, Yeongju, Inje, Gwangju, Incheon, Boeun, Mungyeong, Chupungnyeong, Seosan
25~30	Ulsan, Chuncheon, Namwon, Mokpo, Cheongju, Gunsan
30~35	Imsil
45~50	Samcheok, Buan
60 or less	Gangneung, Sokcho, Daegwanryeong, Ulleungdo

Table 9. Maximum pull-out force and vertical force of typical greenhouse according to growing crops

Greenhouse types	Leaf vegetables	Fruit vegetables	Root vegetables
Pull-out force (kgf)	12.7	15.1	14.2
Vertical force (kgf)	21.0	21.7	20.6

12.7~14.2 kg/개소, 20.6~21.7 kg/개소 범위인 것으로 분석되었다.

Kim and Nam(1995)의 연구결과에 따르면 직경 25.4 mm 파이프를 30 cm 깊이로 매설할 경우 인발저항력은 연한 논지반에서 39.2 kgf, 보통의 밭지반에서 74.6 kgf 정도이고, 지지력은 연한지반의 경우 44.4 kgf, 보통의 밭지반은 99.3 kgf 정도이다. 따라서, 구조적으로 안전한 풍속과 적설심에 대하여는 기초는 안전한 것으로 판단된다. 그러나 대부분의 경우에 안전풍속과 안전적설심이 매우 작기 때문에 폭설이나 강풍에 대비한 보강이 필요하며, 보강에 의해 안전풍속과 안전적설심이 증가할 경우에는 파이프의 매설깊이만으로 최대 인발력 및 최대 연직하중에 저항할 수 없으므로 파이프에 수직하게 철근 등을 용접하거나 나선형 철근말뚝을 박아서 끈으로 고정하는 등의 추가적인 대책이 필요하다.

설계풍속 및 적설심과 비교하여 온실의 구조 안전성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 재배작물별 대표온실에 단위풍하중을 적용한 결과, 최대 단면력은 과채류, 근채류, 엽채류 온실 순으로 크게 나타났으며 재배작물별 서까래 간격을 고려한 안전풍속은 엽채류 온실이 17.7 m/s, 과채류 온실이 20.2 m/s, 근채류 온실이 22.3 m/s로 나타나 지역별 8년 빈도의 설계풍하중과 비교하였을 때 홍천, 이천, 성주지역을 제외하고는 대부분의 지역에 있어서 불안정한 것으로 나타났다.
2. 재배작물별 대표온실에 단위 적설하중을 적용한 결과, 근채류 온실의 최대 단면력이 가장 크게 나타났으나 재배작물별 서까래 간격을 고려한 안전적설심은 엽채류 온실이 8.8 cm, 과채류 온실이 9.4 cm, 근채류 온실이 11.8 cm인 것으로 나타났다. 이러한 결과를 지역별 8년 빈도의 적설하중과 비교하였을 때 경남지역 일부를 제외하고는 대부분의 지역에 있어서 불안정한 것으로 분석되었다.
3. 재배작물별 대표 온실의 안전풍속과 적설심에 대하여 구조물에 발생하는 최대 인발력은 12.7~15.1 kgf/개소, 최대 연직하중은 20.6~21.7 kgf/개소로 나타나 기초는 안전한 것으로 분석되었으나 안전풍속과 안전적설심이 매우 작기 때문에 폭설이나 강풍에 대비한 보강이 필요한 것으로 나타났다.

4. 재배작물별 대표온실의 안전풍속과 적설심을 증가시키기 위해서는 서까래 간격을 감소시키거나 부재의 단면치수를 증가시키는 등의 보강대책이 필요한 것으로 나타났다.

주요 추가어: 재배작물, 단동 비닐하우스, 적설심, 구조안전성, 풍속

사사

본 연구는 농림축산식품부 수출전략기술개발사업에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Jeon JK (2009) Counterstep and damage pattern of horticulture and herbal crop Facilities. *Rural Development Administration workshop on measure to reduce meteorological damage in agricultural structures*:161-208.
- Kim MK, Son JE, Nam SW, Lee DG, Rhie SJ (1992) Studies on the structural design of biological production facility. *Journal of Biological Production Facilities and Environment Control* 1(1):1-13.
- Kim MK, Nam SW (1995) Experimental studies on the structural safety of pipe-houses. *Journal of Biological Production Facilities & Environment Control* 4:17-24.
- Lee HW, Lee SG (1995) A study on the safety frame interval of pipe houses in Kyungpook region. *Journal of Biological Production Facilities & Environment Control* 4:195-202.
- Lee SG, Kim MK, Suh WM (1995) Greenhouse construction standards, Rural Development Corporation (RDC) Rural Research Institute.
- Lee JW, Lee SG, Lee HW (2002) A field survey on the structures of small scale vinyl house by growing crops. *Proceedings of the 2002 Annual Conference The Korean Society of Agricultural Engineers*:129-132.
- Lee SG, Lee HW, Lee JW (2003) Effects of width, edge and side height of single-span vinyl-house on structural safety. *Proceedings of the Korean Society for Bio- Environment Control Conference* 12:48-51.
- Lee SG, Lee HW, Lee JW (2003) Analysis of structural style of one ppan vinyl house by region and growing crop. *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference* 12:221-225.
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (MFAFF) (2011) Status of vegetable production in South Korea.
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (MFAFF) (2011) Status of flower production in South Korea.
- Yoon YC, Kim YK, Choi MG, Kim YJ, Lee JW, Suh WM (2007) Natural disaster resistance of single-span plastic greenhouse for strawberry cultivation. *J Agr Life Sci* 41:63-68.