



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위논문

감자 수경재배 작형별 경삽묘 종류와
정식시기가 식물체 생장과 소피경
형성에 미치는 영향



제주대학교 대학원

원예학과

김 태 균

2014년 12월

감자 수경재배 작형별 경삼묘 종류와 정식시기가 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향






지도교수 송관정

김태균

이 논문을 농학 박사학위 논문으로 제출함

2014年 12月

제주대학교 중앙도서관
김태균의 농학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장 강훈 
위 원 송라관 
위 원 조영열 
위 원 김봉찬 
위 원 김성배 

제주대학교 대학원 원예학과

2014년 12월

Effect of Stem Cutting Type and Transplanting Time on Plant Growth and Minituber Formation in Potato Hydroponics

Tae-Gyun Kim

(Supervised by Professor Kwan-Jeong Song)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Agriculture



2014. 12

Department of Horticulture
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
Abstract	iii
List of Tables	v
List of Figures	IX
I. 서 언	1
II. 연구사	4
1. 감자 수경재배 및 묘 종류에 따른 식물체 생장과 소피경 변화	4
2. 감자 수경재배 작형 및 정식 시기에 따른 식물체 생장과 소피경 형성의 변화	8
III. 재료 및 방법	11
1. 식물 재료	11
2. 수경 재배	12
3. 식물체 및 소피경 생육 조사	16
4. 기상요인 분석	17
5. 묘 종류별 경제성 분석	17
6. 통계 분석	17

IV. 결과 및 고찰	18
1. 경삼묘 종류가 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향	18
1) 경삼 차수가 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향	18
2) 경삼 육묘 기간이 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향	33
3) 묘 종류별 경제성 분석	46
2. 경삼묘 정식 시기가 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향	48
1) 기상요인 분석	48
2) 경삼묘 정식 시기가 식물체 생장 및 소피경 형성에 미치는 영향	52
3) 기상요인과 소피경 형성과의 관계	79
V. 종합고찰	81
VI. 적 요	87
VII. 인용문헌	89



Abstract

This study was conducted to find out the optimum plantlet type and transplanting time on plant growth and mini-tuber formation of potato in aeroponics system. Acclimation plantlet, 1st, 2nd, 3rd, 4th stem cuttings, and non-rooted stem cutting, 15, 25, 35 days-old stem cuttings(DOS) were utilized in aeroponics system to find out the optimum plantlet type. And stem cutting were transplanted on Mar. 7, Mar. 14, Mar. 21 and Mar. 28 in spring aeroponics cultivation and on Aug. 31, Sep. 7, Sep. 14 and Sep. 21 in autumn aeroponics cultivation to determine optimum transplanting time.

Among the stem cutting plantlets and acclimation plantlet, the longer stem length was recorded from the 2nd, 3rd stem cuttings in spring cultivation, and similar results were shown in autumn cultivation also. Number of stolons were highest in acclimation plantlet, and showed the tendency to decrease gradually with cutting times. Number of tubers above 3g were similar in acclimation plantlet, 1st and 2nd stem cuttings, and were less in 3rd, 4th stem cuttings than another treatments in spring cultivation, and it was highest in acclimation plantlet and showed the tendency to decrease gradually with cutting times in autumn cultivation. Weight of tubers above 3g was not difference among acclimation plantlet, 1st, 2nd and 3rd stem cuttings in spring cultivation, and no difference among 1st, 2nd and 3rd stem cuttings in autumn cultivation

The stem length of non-rooted stem cutting and days-old stem cuttings showed a vigorous tendency in spring and autumn cultivations, as the stem cutting age is longer. The highest number of 1st stolons were recorded from the non-rooted stem cutting in spring and autumn cultivations, and showed the tendency to increase as the stem cutting age is longer. Number of 2nd

stolons were not difference among the non-rooted stem and 25, 35 days-old stem cuttings in spring cultivation, and it was highest in non-rooted stem cutting in autumn cultivation. Number of tubers above 3g were similar in 25, 35 days-old stem cuttings, and it was less in non-rooted stem cutting and 15 days-old stem cutting than another treatments in spring and autumn cultivations. Weight of tubers above 3g was shown a similar tendency to number of tubers above 3g in spring and autumn cultivation.

The stem length was increased in spring cultivation as delaying the transplanting time. Number of 1st stolons were highest on Mar. 21. Number of 2nd stolons were higher on Mar. 21 and Mar. 28 than on Mar. 7 and Mar. 14. Numbers of tubers above 3g was highest on Mar. 21. Weight of tubers above 3g was not difference among Mar. 14, Mar. 21 and Mar. 28 and the lowest was recorded on Mar. 7.

The stem length was reduced in autumn cultivation as delaying the transplanting time. Number of 1st stolons were highest on Sep. 21. Number of 2nd stolons were highest on Sep. 14. Number of tubers above 3g were increased as delaying the transplanting time. The weight of tubers above 3g was not changed with the transplanting time.

There were significant positive correlation among the agronomic traits except stem length and number of 1st stolons in spring cultivation. The stem length showed a significant negative correlation with the number of tubers and a significant positive correlation with the weight of tubers in autumn cultivation.

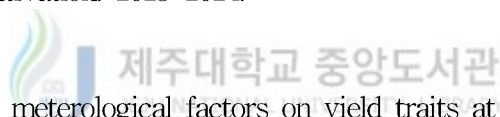
List of Tables

Table 1. Stock solution composition in aeroponics system.	15
Table 2. EC concentration according to growth stage in aeroponics system.	16
Table 3. Characteristics of plantlets used for this experiment.	19
Table 4. Shoot growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.	23
Table 5. Root growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.	23
Table 6. Shoot growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.	25
Table 7. Root growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.	25
Table 8. Number of tubers and yield per plant of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.	27
Table 9. Number of tubers and yield per plant of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.	29
Table 10. Characteristics of plantlet quality used for this experiment.	33

Table 11. Shoot growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.....	36
Table 12. Root growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.....	37
Table 13. Shoot growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.....	38
Table 14. Root growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.....	38
Table 15. Number of tubers and yield per plant of days-old stem cuttings and non-rooted cutting in spring aeroponics cultivation.....	40
Table 16. Number of tubers and yield per plant of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.....	43
Table 17. Comparative management analysis of stem cutting compare to acclimation plantlet.	46
Table 18. Analysis of production cost according to plantlet type at 10,000 plant production level.....	47
Table 19. Sum of average temperatures and hours od sunshine according to transplanting date in spring cultivation. 2013-2014.....	51
Table 20. Sum of average temperatures and hours od sunshine according to transplanting date in autumn cultivation. 2013-2014.....	51

Table 21. Shoot growth characteristics according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	54
Table 22. Root growth characteristics according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	55
Table 23. Shoot growth characteristics according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	55
Table 24. Root growth characteristics according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	56
Table 25. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013.	59
Table 26. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2014.	60
Table 27. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	63
Table 28. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012.	66
Table 29. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2013.	67
Table 30. Number of tubers and yield per plant according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	70

Table 31. Correlation coefficients among the agronomic traits in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	73
Table 32. Correlation coefficients among the agronomic traits in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	74
Table 33. Significant regression equations with coefficients of transplanting date and agronomic traits in spring aeroponics cultivation.	75
Table 34. Significant regression equations with coefficients of transplanting date and agronomic traits in autumn aeroponics cultivation.	77
Table 35. Effect of meteorological factors on yield traits at different growth stages in spring cultivation. 2013-2014.	79
Table 36. Effect of meteorological factors on yield traits at different growth stages in autumn cultivation. 2012-2013.	80



제주대학교 중앙도서관

List of Figures

- Fig. 1.** Plantlets steps production of from tissue cultured plant to stem cutting. 13
- Fig. 2.** Required number of days and propagation multiple from tissue cultured plant to third-stem cutting. 14
- Fig. 3.** Stem cutting plantlets and acclimation plantlet at transplanting date. A-P : Acclimation plantlet, 1st-S : First-stem cutting, 2nd-S : Second-stem cutting, 3rd-S : Third-stem cutting, 4th-S : Fourth-stem cutting. 19
- Fig. 4.** Changes of stem lengths of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors. 21
- Fig. 5.** Changes of stem lengths of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors. 21
- Fig. 6.** Distribution of tuber size of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation. A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting. 28
- Fig. 7.** Distribution of tuber size of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation. A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting. 30
- Fig. 8.** Mini-tubers of stem cutting plantlets and acclimation plantlet at harvesting time in spring aeroponics cultivation 32

Fig. 9. Plantlets of days old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting at transplanting date.	34
Fig. 10. Changes of stem length of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.	35
Fig. 11. Changes of stem length of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in utumn aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.	35
Fig. 12. Distribution of tuber size of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.	41
Fig. 13. Distribution of tuber size of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.	42
Fig. 14. Mini-tubers of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring at harvesting time in spring aeroponics cultivation.	45
Fig. 15. Temperature (upper) and hours of sunshine (lower) in spring cultivation, 2013-2014.	49
Fig. 16. Temperature (upper) and hours of sunshine (lower) in autumn cultivation, 2012-2013.	50
Fig. 17. Changes of stem length according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	53
Fig. 18. Changes of stem length according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	53

Fig. 19. Distribution of tuber size according to transplanting date in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	64
Fig. 20. Distribution of tuber size according to transplanting date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	71
Fig. 21. Mini-tuber at greening treatment and after greening treatment. ...	71
Fig. 22. Changes of agronomic traits in relation to planting date in spring in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.	76
Fig. 23. Changes of agronomic traits in relation to plating date in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.	78



I. 서 언

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 남미 안데스 산맥이 원산지로서 16세기경 스페인 사람에 의해 유럽으로 전파되었다(Hawkes, 1994). 현재, 전 세계 160여 개국에서 연간 1천 9백만 ha가 재배되며 3억 7천톤 수준이 생산되어, 생산량으로 옥수수, 밀, 벼 다음으로 4위를 차지하는 주요 작물이다(FAO, 2013). 또한 감자는 UN이 선정한 미래 식량작물로 저개발 국가를 중심으로 재배면적과 생산량이 크게 증가되고 있다.

우리나라에 처음으로 도입된 시기는 조선 순조 24년경 만주의 간도 지방으로부터 두만강을 건너서 도입되었다(오, 1996). 제주도의 감자 재배역사는 1950-1960년대에 200-300ha 수준에서 수량도 1,000kg/10a 내외였다. 1965년 제주농업시험장에서 일본 도입 품종의 가을재배 선발 시험을 시작으로 감자에 대한 연구가 시작되었고, 1966년부터 가을감자 원원종을 생산·공급하면서 감자 재배가 정착되기 시작하였다. 1980년대 중반부터 제주도의 감자산업의 중요성 인식과 겨울철 땅속 월동이 가능한 좋은 환경조건으로 인하여 현재는 제주의 중요한 경제 작목으로 부각되어 있다(Cho, 2003). 현재 제주에서 감자 재배면적은 2,000여 ha에서 재배되고 있고, 최근 10년간 조수익은 1,000억원 내외로 감귤, 마늘 등과 더불어 농가의 주 소득 작목원이 되고 있다. 이러한 감자 산업을 안정화하기 위해서는 감자의 품질과 생산성을 크게 좌우하는 양질의 씨감자를 공급하는 것이 무엇보다도 중요하다.

씨감자는 증식 배율이 1회에 8-15배로 매우 낮기 때문에 여러 차례에 걸쳐 증식을 해야 하고, 영양번식에 의존하므로 병에 감염되면 그 후대는 씨감자로 사용할 수 없어 상위 단계의 무병 씨감자를 지속적으로 갱신해야 한다. 우리나라의 무병종서 공급체계는 1980년 이전까지는 정부 차원에서 2-3년마다 일본, 캐나다, 및 미국 등에서 상위급 종서를 소량씩 도입하여 이를 증식한 후 농가에 보급하여 왔다. 이후 1980년대 중반까지는 생장점 배양을 통한 무병주 획득기술이 확립되어 실내배양실에서 생산된 무병 주를 온실재배로 기본종을 만들고 기본식물, 원원종, 원종, 보급종 등 5단계의 증식 과정을 거쳐 농가에 보급하여 왔다. 1980년대 후반부터 상위 단계의 씨감자 생산을 위하여 인공씨감자라고도 불리는 기내 소피경을

이용하여 씨감자를 채종하였으나 씨감자 크기가 작아 포장재배시 초기 생육이 부진하고 기상환경에 취약한 단점이 있어 큰 진전이 없었다(Kim et al., 2006).

이러한 단점을 보완하기 위하여 1990년대 후반부터 기내 소피경에 비하여 크기가 크고 생산성이 높은 수경재배를 이용한 씨감자 생산기술이 실용화 되어 지금에 이르고 있다. 수경재배 씨감자는 시설 내에서 집약적으로 관리가 가능하므로 바이러스나 각종 병에 의한 오염을 줄일 수 있고, 환경 제어를 통해 대량으로 급속증식이 가능하다. 또한 크기가 3-50g으로 포장에 직파하여도 입모율과 초기 생육이 좋고 수량 또한 일반 씨감자와 대등하다고 할 수 있다. 이러한 장점으로 지방자치단체 등에서 씨감자 생산방식으로 널리 사용되고 있지만, 제주도를 제외하고 규모가 대부분 10a미만으로 아직까지 대량생산하는데 한계가 있는 실정이다.

제주도에서는 1998년부터 씨감자를 자체 생산 공급하기 시작하였고, 현재는 1.7ha 분무경 수경재배 시설에서 무병 우량 소피경 씨감자를 매년 200만개 이상 대량 생산하여 제주에서 필요한 씨감자를 자급하고 있다. 수경재배 씨감자를 대량 생산하기 위하여 수경재배 정식용으로 묘 종류가 다양하게 이용되어 왔고, 정식 기간도 봄재배, 가을재배 시 1 개월 이상 소요되어 정식시기별로 생산성의 차이를 보여 씨감자 안정 생산에 걸림돌이 되고 있다. 감자 수경재배에서 소피경 씨감자 생산성 향상을 위하여 수경재배 방식, 피경 형성 촉진 방법, 수경 재배 시 양액 농도, 소피경 수확 방법, 묘 종류 등 다양한 연구가 진행되어왔다.

수경재배에서 정식에 이용되는 묘 종류로는 조직배양 순화묘, 멩아묘, 경삽묘 등이 이용되어 왔다. 조직배양 순화묘는 생장점 배양을 통해 기내에서 생성된 최초의 유식물체로 묘 소질은 우수하지만 대량 생산하려면 배양 시설과 전문 인력을 확보해야 하는데, 배양 시설 비용이 너무 비싸고 배양 전문인력 확보가 어려워 현실적으로 어려움이 있다(Kang et al., 2006; Kim et al., 1997). 또한 수경재배에서 생산된 3g 이하 소피경을 멩아시켜 사용하는 멩아묘는 생산과 보관 중 병해 감염 우려가 높고, 균일한 묘 생산이 어려운 단점이 있다. 그러므로 조직배양묘를 순화상에 이식하여 일정 기간 순화시킨 후 줄기 삽식을 통하여 묘를 증식하는 경삽묘는 증식률이 높고, 묘를 생산하기 쉬워 대량생산 체계에 있어 가장 적합한 묘 생산 방법이라 할 수 있다. 지금까지 묘를 생산하는 방법 등에 관한 여러 연구가 진행되었지만 묘의 생리적 서령이 생산성에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 경삽묘를

대량 증식하기 위하여는 조직배양 순화묘로부터 시작하여 경삼하는 횟수를 필연적으로 늘려야 되는데, 경삼 횟수에 따른 묘 활력 차이에 대한 생산성 변화가 검토 되어야 할 것이다. 또한 경삼묘 생산시 경삼 후 육묘 기간에 따라 묘 소질이 달라질 수 있는데 이에 대한 검토도 필요한 실정이다.

제주에서 씨감자 공급은 분무경 수경재배에서 2기작 작형으로 봄(3월-6월), 가을(9월-12월) 재배에 의해 소피경 씨감자를 생산·공급하고 있다. 분무경 수경재배에서 2기작 재배가 가능한 시기는 1년 중 한정되어 있고 생육기간도 3개월 정도로 매우 짧은 편이다. 2기작 재배에 있어 기상 환경 조건은 작형에 따라 정반대의 양상을 보이는데, 기상 여건은 감자 생산량을 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있다. 지금까지 고령지농업연구시험장 등에서 수경재배 작형에 따라 양액조성 농도, 피경 형성 촉진 방법 등에 대한 연구가 수행되었으나, 대량생산 체계에서 작형별로 정식기간이 길어질 때 기상 여건과 함께 식물체 성장 및 소피경 수량성 변화에 대한 연구는 전무한 실정이다. 생육기간이 짧고 감자가 생육하기에 적당하지 않은 2기작 재배에서 적정 정식시기를 설정하고 그 기간에 집중적으로 정식을 한다면, 소피경 씨감자를 대량생산하는데 효율적인 재배 방식이 될 것이다.

따라서 본 연구는 분무경 수경재배 방식을 이용하여 소피경 씨감자를 대량 생산함에 있어 재배 작형별로 감자 경삼묘 종류와 정식시기에 따른 식물체 성장과 소피경 형성에 미치는 영향을 구명하여 수경재배 소피경 씨감자의 효율적인 생산 체계를 확립하고자 수행하였다.

II. 연구사

1. 감자 수경재배 및 묘 종류에 따른 식물체 성장과 소괴경 변화

감자는 영양번식 작물로 씨감자로 계속 이용하는 과정에서 종서가 퇴화되어 수량과 품질이 크게 떨어지므로 무병 우량 씨감자를 사용하는 것이 무엇보다 중요하다. 우량 씨감자 생산을 위한 무병주 생산은 주로 성장점을 배양하여 바이러스를 제거하고(Morel, 1955), 이를 증식시킨 후 기내 Shoot의 계대배양 과정을 거쳐 기본식물을 만들고 이를 포장에서 여러 단계에 걸쳐 증식하면서 농가에 보급하여 왔다. 그러나 이러한 방법은 발근된 유식물체를 감자 재배 적기에만 생산해야하기 때문에 묘를 생산하는 기간이 제한되고, 토양 생존율도 떨어지는 등 대량생산하는데 어려운 점이 있다(임 등, 1990).

Gregory(1956)는 기내에서 소괴경 형성의 가능성을 제시하였으며, 이후 인공 씨감자라 불리는 기내 소괴경(micro-tuber)생산 방법에 대한 많은 연구가 보고되어 왔다(Han, 1987; Hussey et al., 1984; Joung, 1989). 감자 기내 소괴경은 대량 생산이 가능하고 저장 및 수송이 간편한 여러 장점을 가지고 있다(Choi et al, 1994). 하지만 씨감자 크기가 1g 미만으로 파종 후 가뭄 등 기상 환경 변화에 약하여 입모율이 떨어지고, 초기 생육이 부진하여 재배관리가 잘 안 될 경우 충분한 수량을 확보할 수가 없다(kim et al., 1996)

기내 소괴경이 입모율과 초기 생육 부진이라는 최대 단점을 보완하기 위하여 수경재배기술이 도입되었다. 감자 수경재배는 미국 NASA에서 우주 비행시 자체 식량 확보 가능성을 알아보기 위하여 NFT 방식으로 감자 수경재배를 시도한 바 있다(Wheeler and Tibbitts, 1986, 1987; Wheeler et al., 1990). 국내에서는 상위 단계의 무병종서를 대량 증식 할 목적으로 감자 수경재배를 시도하였고(Kim et al., 1993), Kang and Kim(1995)이 감자 수경재배시스템 및 재배방법을 구명하여 1998년부터는 이 기술을 이용하여 최상위급 기본종 씨감자를 생산하고 있다.

수경재배 시스템은 담액경, NFT(박막순환식), 분무경 등으로 구분할 수 있으며, 담액경은 양액 속에 근계를 형성시키고 인위적으로 용존 산소를 공급해 주어야 하나 비교적 안정된 근권 환경을 유지할 수 있어 채소류 등의 재배에 이용된다 (Jung et al., 1994). 감자는 담액경 재배 시 복지가 양액 속에 잠겨 있으면 괴경 형성이 억제되고(Kang et al., 1996), 형성된 괴경도 괴목이 비대 되고 부패하기 쉬워 품질 저하를 초래할 수 있다. NFT 방식은 식물을 박막 상태로 흐르는 양액에 재배함으로써 근권의 통기를 적절히 유지하기 위하여 고안되었으나(Cooper, 1975), 미생물에 의한 근권의 산소 소비로 산소 농도의 부족이 야기될 수 있는 단점이 있다(Gislerrod and Maxwell, 1983). 분무경은 뿌리를 공기 중에 노출시키고 양액을 분무하여 안개와 같이 포화시켜 재배하는 방식으로 용존 산소 문제 해결에 장점이 있고(Massantini, 1985; Maxwell, 1986), 수분이용 효율이 극대화 되어 생육이 왕성해지고 특히 근모 발달이 현저히 좋다(Zobel et al., 1976). 감자 수경재배 방식 비교에서 분무경은 품종에 관계없이 다른 수경재배 방식보다 복지의 생장이 월등히 좋았으며, 생육이 양호하고 수량이 많아 감자 생산을 위한 수경재배에 적합한 방법으로 보고되었다(Kang and Kim, 1996).

감자 수경재배에 의하여 생산된 소괴경은 크기가 작은 것은 0.5g에서 큰 것은 20-30g으로 일반 괴경에 비하여 작으나, 5g 이상이면 포장재배가 가능하고 수량 감소가 적으므로 종서용으로는 5-10g 정도 크기의 소괴경을 많이 생산하는 것이 바람직하다(Kang et al., 1995). 또한 수경재배에서 생산된 소괴경 크기가 3g 이상이면 생육 및 총수량에서 큰 괴경과 차이가 없었으며, 5±2g 크기로 파종하였을 때 후대생산성은 30-80g 범위의 씨감자 생산 분포율이 높아 씨감자 생산에 적합하여 수경재배 시 소괴경의 크기가 5±2g인 것을 다량 생산할 수 있는 재배기술이 필요하다고 하였다(Kim, 1997; Kim, 1998).

수경재배 시 소괴경 생산에 영향을 미치는 요인으로 묘 종류, 재배환경 등이 중요하다 할 수 있다. 기내에서 성장점을 채취하여 배양 증식한 조직 배양묘는 굵기가 가늘고 연약하여 수경재배상에서 곧바로 재배할 수 없어 30일 내외의 순화를 거쳐 새 뿌리가 내린 후 수경재배에서 정식하여 사용하고 있다(Ku et al., 2000). 조직배양묘는 기내 배양을 통해 생산된 최초 식물체로 묘 소질이 우수하지만, 대량생산에 한계가 있어 순화가 끝난 묘 줄기를 2-4회 절단하여 펠라이트나

피트모스 상토에 삼목하여 묘를 대량으로 증식하고 있다. 감자의 삼수를 5cm로 절단하여 경삼하면 12월부터 5월까지 5,000개의 삼수를 얻을 수 있다고 하였으며 (Cole and Write, 1976), 경삼으로 1년에 260-7,600배까지의 증식이 가능하여 효율적인 증식 기술이라 할 수 있다(Hamann, 1974).

묘를 이용한 연구에서, 경삼묘는 감자 유식물체 이식시 뿌리에 붙어있는 입자 제거에 노력이 많이 들고, 뿌리가 새롭게 나오는 과정에서 어린 묘가 경화되므로 생육이 일시 정지되는 문제점이 발생하였고, 수경재배상에 직접 삼식한 묘가 배양토 발근묘보다 경장이 크고 수량이 많고(Kim et al., 2002), 경삼묘 간 비교에서 삼수가 클수록 괴경 수량이 많았다고 하였다(田中, 1986). 박막순환식 수경재배에서 조직배양묘는 경삼묘에 비하여 괴경 형성과 괴경 비대는 빨랐으나, 경삼묘가 복지장이 길었고, 복지수도 많았으며, 주당 괴경 수가 2.3배 많아 종서 급속 증식 수단으로 효과적이었다고 하였다(Kim et al., 1996). 한편, Kim et al.(1997)은 감자 '수미' 품종에서 경삼묘를 포트정식, 배양순화묘를 수경재배에 정식한 후 생산성 검정에서 주당 괴경 수는 배양 순화묘를 이용한 수경재배에서 월등히 많았다고 하여 서로 다른 결과를 보고하였는데, 연구자나 재배환경, 묘-소질에 따라 다소 간의 차이를 보였다. Kang et al.(2006)은 경삼묘와 무발근묘를 이용하여 분무경 수경재배에서 소괴경 씨감자를 생산할 시 18일 경삼묘가 무발근묘보다 정식 60일후에 경장이 짧아지는데 이는 정식 시 펄라이트를 제거하는 과정에서 뿌리가 많이 손상되어 초기 생육이 저조한데 기인한다고 보고하였고, 괴경 수와 괴경중은 무발근묘보다 경삼묘를 이용할시 수량이 증수되었다고 하였다.

감자의 생육과 수량은 종서의 서령(수확 후 경과 기간 또는 생리적 상태)에 따라 달라진다(Wiersema, 1985). 분무경 수경재배 시 경삼묘 생리적 서령 실험에서 Chae et al(2008)은 감자 경삼묘를 육묘 기간을 달리하여 정식 시 육묘 기간에 따른 초장의 차이는 없었으며, 괴경중은 삼목 후 20일과 40일된 경삼묘를 정식할 때 가장 무거웠고 주당 괴경 수도 가장 많았으나 50일 경삼묘를 제외하고 육묘 기간이 20, 30, 40일된 경삼묘 간 차이를 보이지 않았다고 하였다. 50일 경삼묘에서는 타 처리보다 25%정도 괴경 수가 감소하였는데, 이는 경삼 육묘 기간이 길어짐에 따라 묘가 노화되어 삼목상에서 복지가 형성되고 생식생장기로 접어들어 정식 시 괴경 수가 줄어든다고 하였다.

지금까지 감자 수경재배에 있어 정식용 묘로 사용되는 경삽묘는 조직배양묘보다 생산비가 적게 들고 비교적 쉽게 대량생산이 가능하여 다양한 방법으로 경삽묘를 생산하는 방식이 검토 되었다. 하지만 조직배양묘를 이용하여 경삽묘를 증식할 때, 경삽묘를 이용하는 횟수와 경삽 후 육묘 기간 등 경삽묘 생리적 서령이 생산성에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정으로 경삽묘를 효율적으로 대량 생산하기 위하여 이에 대한 검토가 필요하다 하겠다.



2. 감자 수경재배 작형 및 정식 시기에 따른 식물체 성장과 소괴경 형성의 변화

제주에서 감자 재배 작형은 봄 재배(2월 하순-6월 중순)와 가을재배(8월 하순-12월 중순)가 있다. 감자 2기작 재배에서 기상여건은 생산량을 결정하는 요소로 온도, 일조시수, 강우량 등이 관여하며, 재배 작기별로 온도와 일조시간에 있어 서로 다른 양상을 보이면서 관여한다. 감자 수경재배에 있어 수분은 인위적 공급이 가능하므로 온도와 일장은 감자 생육에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 감자 생육에 있어 일장과 온도에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.

감자는 비교적 서늘한 조건에서 잘 자라고, 주야간 일교차가 크고, 단일 조건에서 괴경 착생과 비대가 촉진 된다(Beukema, 1990; Bodalender, 1963; Izumi, 1987). 지상부 생육은 씨감자에 의한 영향 외에도 온도와 일장 조건에 따라 영향을 받는다(Bate, 1943; Bodalender, 1963; Buton, 1966). 감자 괴경 형성 과정은 저장 단백질의 합성, sucrose 이동, 전분축적 및 세포분열과 팽창 등의 복합적인 과정이며, 광주기, C/N비율, 저온 등의 환경요인들이 관여한다(Chapman, 1958; Ewing, 1978; Gregory, 1956). Ingram and Mccloud(1984)는 감자 생육에 있어 지상부 생육은 22-24℃가 적온이고, 괴경 비대는 14-16℃가 적온으로 보고하였고, Bennett et al.(1991)은 식물체 지상부 초장, 건물중, 지하부 건물중 등은 밤·낮 항온조건(18℃)보다 낮(22℃), 밤(14℃)의 변온 조건에서 자란 것이 높았다고 하였다. 일반적으로 감자에서 높은 온도는 잎과 줄기의 성장을 좋게 하고 낮은 온도는 괴경 발달에 유리한 것으로 알려져 있다.

일장 처리가 괴경 수의 증가에 미치는 효과는 ‘대지’ 품종에 있어서 괴경 유기 전 단계에서 단일(8h) 8주, 괴경 유기 단계에서 암 상태로 배양하여 처리하면 괴경 수가 증가 되는데, 괴경 유기 전 단계에도 단일조건이 괴경 형성에 유리하다고 하였다(An et al., 1995). 또한 Krug(1965)는 괴경 형성에 있어서 최적 일장은 주간 온도 12℃, 야간온도 8℃에서 길어지고, 주간온도 28℃, 야간온도 23℃에서 단축되며 생육초기의 저온 단일은 괴경 형성을 촉진시킨다고 하였다.

감자는 고온조건에서 생육이 부진한데, Bushnell(1925)은 29℃에서 괴경 형성이 이루어지지 않는다고 하였으며, Werner(1934)은 24℃에서 33℃로 온도가 상승함에

따라 수량감소를 초래한다고 하였고, Borash(1962)은 괴경형성은 15℃에서 1주일, 25℃에서 3주일 후에 시작되며 최적온도는 20℃라고 하였다.

감자의 괴경 비대는 광합성 동화 산물인 전분의 축적에 의해 이루어지는데 (Marschner et al., 1984; Reeve et al., 1973), 괴경 비대는 주간에 만들어진 광합성 동화 산물이 야간의 저온 상태에서 지하부 괴경으로 이동하여 괴경 비대가 촉진되며, 야간온도가 너무 낮으면 괴경 생장이 주로 주간에 일어난다고 보고하였다(Slater, 1968). 일단 괴경이 형성된 후의 비대는 광합성에 알맞은 조건 즉 온도 16-20℃ 장일 조건에서 왕성해진다고 하였고(Krug, 1965), Epstein(1966)은 괴경 비대는 29℃ 이상에서는 급격한 감소를 보인다고 하였다. 또한 Wheeler et al.(1986)은 12시간 정도의 일장이 괴경 비대에 좋으며, Haverkort et al.(1986)은 일사량이 많을수록 괴경 비대가 촉진되어 수량이 증가된다고 보고하였다.

우리나라에서 봄과 가을에 휴면기간이 짧은 품종을 이용한 2기작 재배 시 봄 재배는 파종기 저온과 수확기 고온, 가을재배는 파종기 고온과 수확기 저온으로 인한 감자가 생육이 저조하여 재배적 대책이 강구되어왔다(Kang, 1965; 조, 1963; 김 등., 1988; 남, 1969). An et al.(1996)은 봄 재배 시 조생종인 ‘남작’에 있어 출아부터 수확까지 기상요소 중 일조시수, 적산온도 등은 수량과 고도의 상관성을 보인다고 하였으며, Cho(2006)는 ‘대지’ 품종에 있어 출현기부터 괴경 형성기까지 일조시간은 생산성과 정의 상관성을 보였고, 괴경 비대기에는 부의 상관성을 보였는데, 이는 생육후기에 광합성 동화 산물이 괴경 비대보다는 야간 고온으로 호흡하는데 소모하였기 때문으로 보인다고 하였다.

가을 재배 작형은 파종시 고온과 집중 강우로 입모율이 떨어지고, 생육 후반기 서리 등으로 충분한 생육 기간 확보가 어려운데, Cho(2006)는 생산성은 낮지만 괴경이 형성되고 비대 되는 시기에 저온단일 조건이 되고 시간이 지남에 따라 일교차가 커지기 때문에 광합성 동화 산물이 지상부 생육보다는 지하부 괴경으로 축적된다고 하였다. Lee et al.(1985)은 ‘대지’ 품종을 이용하여 가을 재배로 남부 지방에 정식 시 정식기가 빠를수록 출현기가 빠르고 초장과 주당 경수가 많아 지상부 생육에 양호하다고 하였고, 지역별로 해남보다 무안지역이 지상부 생육이 양호한 것은 기온이 높아 비교적 늦게까지 생육이 유지되는 요인이라 하여 가을재배 시 정식시기가 빠를수록 생육이 양호하였다고 하였다.

장 등(1998)은 분무경 수경재배에서 봄재배(2-4월) 시 괴경 수는 pH 6-7에서, 괴경중은 pH 5에서 가장 높았지만, 가을재배(8-11월) 시 괴경 수량은 차이가 없었고 봄재배보다 낮았다고 하였으며, 봄재배 시 정식 15일 후 pH 처리(pH 3.5-6.5) 시 처리 농도가 낮을수록 괴경 형성 기간이 빨랐고, 가을재배에서 정식 30일 후에 pH 처리 시 괴경 형성 기간에 차이가 없었다고 하였다. 또한, 장 등(1998)은 수경재배에서 근권 온도가 낮을수록 괴경 형성에 유리하며 특히, 여름재배(6-8월) 시는 기온이 높더라도 양액을 냉각하여 근권 온도를 20℃ 이하로 유지해야 소괴경 생산이 가능하고, 봄과 가을재배 시는 양액 온도가 크게 문제가 되지 않으나, 봄재배 시 정식 초기 저온과 가을재배 시 정식 초기 고온에 의한 생육 불량과 조기 괴경 착생에 주의해야 한다고 보고하였다.

국내에서 씨감자 생산을 위한 수경재배 기술이 1990년대 중반부터 농촌진흥청 고령지농업시험장에서 개발되어 작형별 양액 온도, 농도, 괴경 형성 처리 등 다양한 연구가 진행되어 왔고 전국 농업기관에 기술이 보급되어 왔지만, 대부분 10a 미만으로 규모가 작고, 경험 부족 등으로 대량 실용화 단계는 아직 미흡한 실정이다. 하지만 제주에서는 1.7ha 수경재배 시설에서 연간 200만개 소괴경 씨감자를 대량 생산하여 농가에 공급하고 있다. 이처럼 대량생산 하기 위하여 봄과 가을에 정식 기간이 1 개월 이상 소요 되고, 작형별로 감자 생육이 전혀 다른 양상을 보이는데 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 분무경 수경재배에 있어서 작형별로 정식 시기가 식물체 성장 및 소괴경 생산성에 대한 연구는 수경재배 씨감자의 안정적, 효율적 생산 차원에서 중요하다 할 것이다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 식물재료

무병 조직배양묘 생산은 생장점 채취를 통하여 바이러스를 제거하고 배양 하여 최초의 유식물체를 생산하였다. 생장점 채취는 '대지' 품종 고유의 특성이 나타나면서 크기가 큰 수경재배에서 생산된 소피경을 선택하여 온도 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, 일장 16시간 조건에서 멩아처리 시킨 후 감자 싹을 1-2cm 정도 크기로 잘라 살균 세척한 후, 해부 현미경하에서 생장점과 두 개의 엽원기 만을 남기고 0.2-0.5mm 크기로 절제하여 고체배지에 치상하였다. 배양조건은 일장 16시간, 온도 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, $1,000-1,500\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 이며 2개월 후 싹초 길이가 5cm 이상 자란 조직배양묘를 기내 증식용 묘로 사용하였다.

조직배양묘를 증식하기 위하여 초기에는 고체배지를 이용하여 3회 증식하였고, 이후 액체배양을 15일 간격으로 3회 계대배양하여 충실한 묘를 생산하였다. 최종 액체계대 배양을 통하여 생산된 묘를 마디 단위로 절단하여 고체배지에 치상하여 증식하였고, 30일 정도 배양하여 묘 길이가 10cm 정도 자라고 발근되었을 때, 펠라이트 삼목상에 정식하여 22일 동안 순화하면서 조직배양 순화묘를 생산하였다.

기내에서 증식된 조직배양 순화묘를 경삽묘로 증식 할 때 몇 차례 이용이 가능한지 알아보기 위하여 조직배양 순화묘가 10cm 정도 자랐을 때 줄기를 5cm 정도 절단하여 상위 2엽 정도 남긴 줄기를 펠라이트 상토에 경삽하여 22일 동안 육묘하여 1차 경삽묘를 생산하였다. 1차 경삽묘가 10cm 정도 자랐을 때 줄기를 절단하여 펠라이트 상토에 경삽하여 22일 육묘하여 2차 경삽묘를 생산하였고, 같은 방법으로 하여 3차 경삽묘와 4차 경삽묘를 생산하였다.

경삽 후 육묘하는 기간에 따른 경삽묘의 감자 생육 및 수량변화에 미치는 영향을 구명하기 위하여, 1차 경삽묘가 10cm 정도 자랐을 때 기부에서 절단하여 펠라이트 상토에 경삽을 하지 않고 직접 수경재배 정식용 묘로 사용하는 무발근묘와, 1차

경삼묘 줄기를 5cm 정도 절단하여 펠라이트 상토에 경삼하여 육묘 기간을 15일, 25일, 35일 달리하면서 15일 경삼묘, 25일 경삼묘, 35일 경삼묘를 생산하였다.

조직배양 순화묘 및 경삼묘 생산 시 재배 관리는 펠라이트를 상토로 하는 재배상에 1.5×2cm 간격으로 삽식하였고, 온도는 22-24℃, 습도는 60% 내외, 광은 16시간, 암 8시간 조건으로 관리하였다. 관수는 원더그로 1호(10-8-25-2(Mg))와 원더그로 2호(0-0-0-22(Ca))를 각각 톤당 0.6kg, 0.5kg 혼합한 양액을 펠라이트가 마르지 않도록 2-3일 간격으로 충분히 공급하여 묘를 생산하였다.

조직배양묘로부터 경삼묘 생산과정과 증식률, 증식기간은 Fig. 1, 2와 같다.

2. 수경재배

본 시험은 제주특별자치도 농업기술원 농산물원종장(제주시 애월읍 봉성리, 해발 300m) 비닐하우스에 설치된 분무경 수경재배 시스템에서 53×180×23cm(가로×세로×높이) 크기의 스티로폼 성형베드를 이용하여 수행하였다. 베드 바닥에 5cm 높이로 16mm PVC 파이프를 고정하고 45cm 간격으로 분사할 수 있는 미스트 노즐을 설치하였다. 분사는 3HP의 모터펌프를 이용하여 생육단계별로 양액을 공급하는 시간을 달리하면서 양액이 근권에 충분히 공급할 수 있도록 하였다. 조직배양묘로부터 생산된 감자 '대지' 품종 유식물체를 직경 2cm 크기의 구멍에 우레탄 스펀지를 이용하여 30×20cm 간격으로 정식을 하였다.

경삼묘 종류 시험은 2013년에 실시하였으며, 봄 재배는 3월 14일, 가을재배는 9월 10일 정식을 하였다. 정식 시기 시험은 육묘 기간이 22일 경과된 경삼 2차묘를 이용하여 2년간 수행하였으며 봄 재배는 2013년과 2014년에 각각 일주일 간격으로 3월 7일, 3월 14일, 3월 21일, 3월 28일에 정식을 하였고, 가을 재배는 2012년과 2013년에 각각 일주일 간격으로 8월 31일, 9월 7일, 9월 14일, 9월 21일에 정식을 하였다.

배양액은 자체 개발한 조성표를 이용하여 Table 1과 같이 조제하였고, 이 원액을 500배로 농축하여 사용하였다. Table 2와 같이 생육단계별로 EC 농도를 달리하였다.

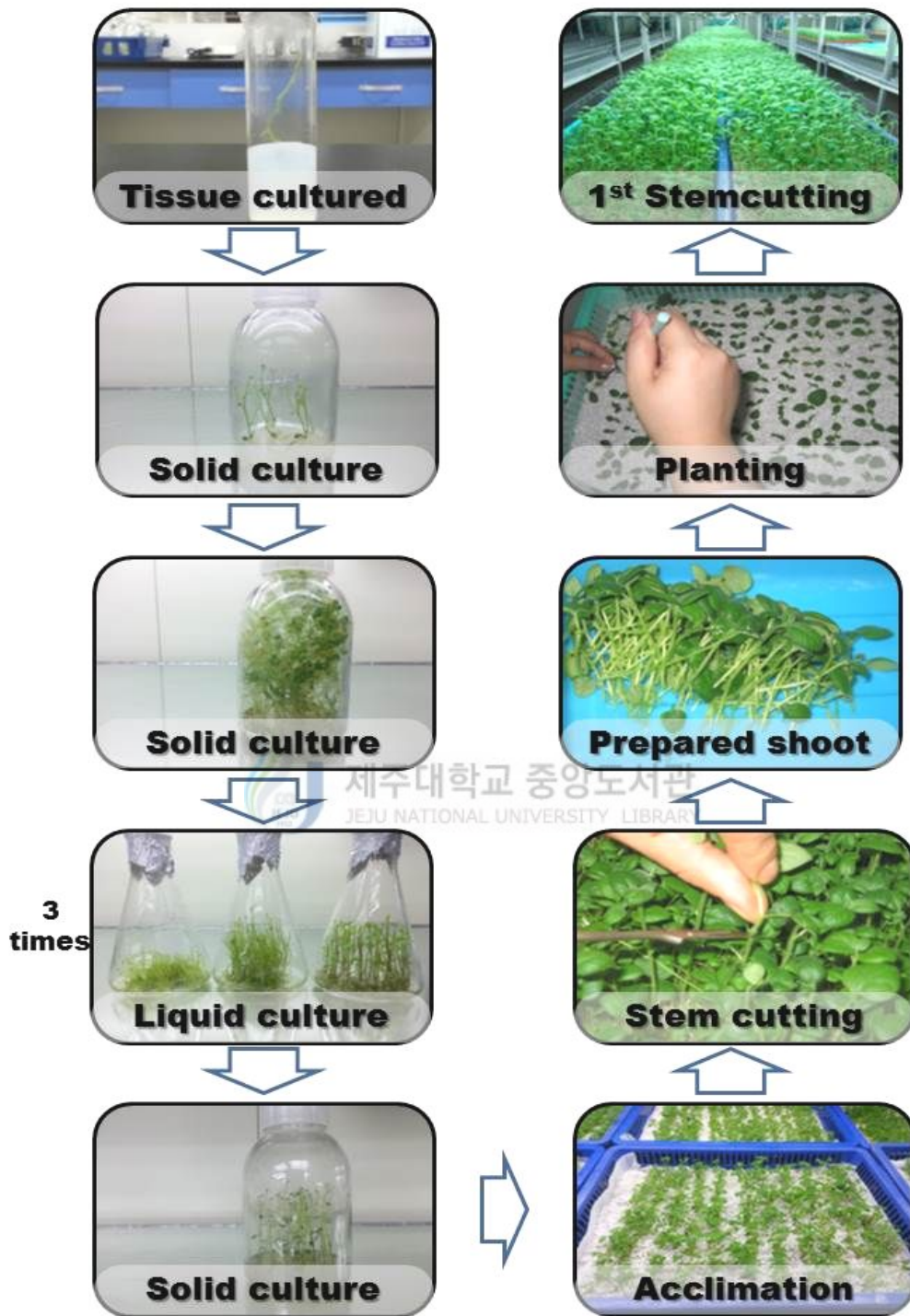


Fig. 1. Plantlets steps production of from tissue cultured plant to stem cutting.

		Number of seedling	Propagation multiple	Required Num. of days
Meristem culture	Solid culture	1	1	60
	↓			
Masspropagation In vitro culture	Solid culture	1	5	30
	↓			
	Solid culture	5	5	20
	↓			
	Solid culture	25	30	90
	↓			
	Liquid culture	750	1	15
	↓			
	Liquid culture	750	1	15
	↓			
Liquid culture	750	1	10	
↓				
Solid culture	750	4	30	
↓				
Acclimation seedling	Acclimation	3,000	1	20
↓				
Stem cutting	First Stem cutting	3,000		
	↓			
	Second Stem cutting		8	60
	↓			
Third Stem cutting	24,000	1	25	

Fig. 2. Required number of days and propagation multiple from tissue cultured plant to third-stem cutting.

생육기간 중 pH는 6.5-7.5수준으로 관리하였다. 양액은 매일 아침 생육 단계별 양액 조성표에 맞춰 보충을 하였으며 양액 내 원소 간의 불균형을 해소하기 위하여 1주일에 한 번 양액을 전면 교체를 하였다.

괴경 형성 촉진을 위하여 봄 재배에는 정식 후 40일 경, 가을재배는 정식 후 35일 경에 원수에 황산을 처리하여 pH를 4이하로 24시간 처리하여 뿌리가 물리적으로 상처를 받게 하여 생식생장을 유도하였다.

양액 공급 횟수는 타이머를 이용하여 조절하여 정식 초기는 뿌리가 건조에 상당히 민감하기 때문에 3분 간격으로 2분간 분무하고, 생육 중기(복지 발생기)는 뿌리 발달이 가장 왕성하고 재배 베드 하단에 고여 있는 양액을 이용할 수 있기 때문에 주간에는 15분 간격으로 2분간 분무하고 야간에는 30분 간격으로 2분간 분무하였다. 생육 후기(괴경형성, 비대기)에는 감자가 많은 수분을 요구하지만 재배 베드 내에 고여 있는 양액을 이용할 수 있고, 수분 과다에 의한 괴경 피목 비대 억제를 위해 주간에는 60분 간격으로 2분간 분무하고 야간에는 120분 간격으로 2분간 분무하면서 본 시험을 수행하였다.

수경재배에서 생산된 소괴경은 재배조 내의 환경이 다습 조건으로 표피가 연하고 피목 비대가 심하므로 표피를 경화시키고 큐어링 처리를 하기 위하여 정식 후 90일에 베드 상판을 15cm 정도 들어 올려 자연 광을 10일 정도 받게 하여 자연 녹화를 실시하고, 다시 2차로 온도 20-22℃, 습도 80-85% 녹화실에서 7일 정도 녹화하였다.

Table 1. Stock solution composition in aeroponics system.

Fertilizer	Concentration (mg·L ⁻¹)	Fertilizer	Concentration (mg·L ⁻¹)
KNO ₃	405	H ₃ BO ₃	1.4
Ca(NO ₃)·4H ₂ O	475	ZnSO ₄ ·4H ₂ O	0.1
NH ₄ H ₂ PO ₄	77.5	MnSO ₄ ·4H ₂ O	1.0
MgSO ₄ ·7H ₂ O	250	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.04
Fe-EDTA	11	(NH ₄) ₆ Mn ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.01

Table 2. EC concentration according to growth stages in aeroponics system.

Growth stage	DAT ^Z	EC concentration
	1-5	0.20
Root formation	6-10	0.88
	11-15	1.22
	16-24	1.32
Stolon-occurence	25-35	1.20
	36-45	0.66
Tuber-enlargement	46-90	0.73

^Z Days after transplanting.

3. 식물체 및 소괴경 생육 조사



생육 및 수량 특성조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 따라 조사하였다. 지상부 경장 변화는 정식 20일 후부터 55일 까지 1주일 간격으로 조사하였고, 지상부 지하부 생육 조사는 정식 후 90일째에 실시하였다. 경장은 수경재배 스티로폼 성형베드 위의 지상부 기부부터 최상위절 끝까지, 줄기 굵기는 지상부 기부 2cm 부분, 복지장은 1차 복지 중 가장 길이가 긴 복지를 측정 조사 하였다. 생체중은 지상부와 지하부로 나누어 조사하였으며, 지하부 생체중은 괴경을 제외하고 조사 하였다. 수량 특성 조사는 수확 후 10일간 녹화를 실시한 후, 무게가 0.5g 이하로 충분이 여물지 못해 자연 녹화 과정에서 말라버린 괴경을 제외하고 조사를 하였고, 소괴경 씨감자 크기를 3g 미만(중자관리요강에 의한 비규격서), 3-5g, 5-10, 10-20g, 20-30g, 30-50g, 50g 이상 등으로 구분하여 괴경 수와 무게를 측정하였다.

4. 기상요인 분석

기상자료 조사는 온도는 온실 제어프로그램을 이용하여 시설 내 온도센서를 설치하여 측정하였고, 일조시수는 원종장에서 가장 가까운 제주지방기상청 고산 기상대의 자료를 이용하였다. 감자 생육기를 정식기-복지발생기(0-35일), 괴경형성기(36-45일), 괴경비대기(46-90일) 등 3단계로 나누어 생육시기별로 평균기온, 일조시간 적산치와 감자 수량 특성과의 상관 정도를 분석하였다.

5. 묘 종류별 경제성 분석

분무경 수경재배에서 정식용 묘로 주로 사용되는 경삼묘와 조직배양순화묘에 대한 생산비를 산출하고, 이에 따른 경제성분석을 하였다.

조직배양 순화묘는 기내에서 증식된 묘와 기내 증식묘를 순화상에서 순화하여 묘를 생산하는데 소요되는 비용, 경삼묘는 일정량의 조직배양묘를 이용하여 3차 경삼묘까지 생산하는데 소요되는 비용을 농업과학기술 경제성 분석 기준에 따라 생산비를 산출하였고, 정식용묘로 조직배양 순화묘를 경삼묘로 대체 시 이에 따른 수익 변화를 부분예산법으로 경제성분석을 하였다

6. 통계분석

처리 효과의 유의성 검정은 SAS 프로그램(Package relwase 9.2)을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 수행하였다. 평균간 비교는 Duncan의 다중검정(Multiple range test), 농업형질 간의 관계를 상관·회귀 분석법에 따라 분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 경삽묘 종류가 식물체 성장 및 소괴경 형성에 미치는 영향

1) 경삽 차수가 식물체 성장 및 소괴경 형성에 미치는 영향

(1) 묘소질

조직배양묘를 순화한 조직배양 순화묘와 경삽 차수를 달리하여 22일 동안 경삽실에서 육묘한 1차 경삽묘부터 4차 경삽묘까지 경삽묘의 소질은 Table 3과 같다. 봄재배 시 정식묘로 사용된 조직배양 순화묘가 경장은 11.7cm로 가장 길었고, 마디수는 6.2개로 경삽묘보다 많았다. 가을재배 시 사용된 조직배양 순화묘와 경삽묘에서도 같은 경향을 보였다. 이는 조직 배양묘를 생산하는 과정에서 이미 경장이 10cm 정도 자랐었고 펠라이트 상토에서 22일 동안 순화하는 과정에서 성장하였기 때문으로 사료된다.

조직배양 순화묘로부터 증식하여 생산한 1차 경삽묘-4차 경삽묘 간에 묘장은 1차 경삽묘가 다소 큰 경향이었으나 경삽 차수에 따라 별 차이를 보이지 않았다. 경삽묘는 경삽 차수가 많아질수록 엽 면적이 넓어지는 것을 관찰 할 수 있었고, 조직배양 순화묘는 줄기가 다소 가늘게 생산되었다(Fig. 3). 경삽 차수가 많아짐에 따라 조직배양묘 유묘 소질이 변화되는 것을 관찰할 수 있었는데, 추후 경삽 차수를 늘려 경삽 차수에 따라 묘 엽 면적, 묘 줄기 굵기, 뿌리 상태 등 묘 소질에 대한 면밀한 검토가 필요하다 생각되었다.

Table 3. Characteristics of plantlets used for this experiment.

Plantlet type	Spring cultivation		Autumn cultivation	
	Length (cm)	No. of nodes	Length (cm)	No. of nodes
Acclimation plantlet	11.7a ^z	6.2a	14.2a	7.7a
First-stem cutting	10.5ab	5.1b	13.3ab	6.1b
Second-stem cutting	9.7b	4.0c	12.6b	4.6c
Third-stem cutting	9.7b	4.0c	12.8b	4.5c
Fourth-stem cutting	9.91b	4.2c	12.3b	4.2c

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.



Fig. 3. Stem cutting plantlets and acclimation plantlet at transplanting time. A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting.

(2) 식물체 생장

봄 재배 시 조직배양묘를 순화한 조직배양 순화묘와 경삽 차수에 따른 경삽묘 종류별로 정식 20일 경과 후부터 55일까지 경장 변화는 Fig. 4와 같다. 처리별로 경장은 32.7-39.8cm로, 조직배양 순화묘에서 가장 작았고, 경삽 차수가 많아짐에 따라 점차 경장이 커지다가, 4차 경삽묘에서는 35.8cm로 3차 경삽묘다 작아지는 경향을 보였다.

경삽묘 생육이 조직배양 순화묘보다 양호한 결과는 Kim et al.(1996)의 보고와 유사하였는데 생육초기 저온에 경삽묘보다 조직배양 순화묘가 민감하게 작용하여 초기 활착이 늦었기 때문으로 판단되었다.

가을 재배 시 조직배양 순화묘와 경삽 차수에 따른 경삽묘 종류별로 정식 후 20일 경과 후부터 55일까지 경장 변화는 Fig. 5와 같다. 처리별로 최종 경장에 있어서 55.7-58.9cm로 봄 재배와 달리 처리 간 큰 차이는 없었다.

봄 재배 시 모든 처리에 있어서 정식 후 30-40일경에 가장 왕성히 성장하였다. 이는 생육 초기는 낮은 기온으로 인하여 새 뿌리 발생이 늦어져 생육이 더디게 진행되다가 4월 중순이후 감자가 생육하기 적당한 온도가 형성됨에 따라 왕성한 성장을 하였고, 정식 40일 이후부터는 생식생장기로 전환되어 완만한 성장을 보인 것으로 판단되었다. 가을재배 시는 정식 초기 부터 왕성히 성장하다가 35일 이후 완만한 성장을 보였다. 이는 가을재배 시 생육 초기에 기온이 높아 지상부가 생육하기 양호한 조건으로 초기에 왕성한 생육을 하다가, 지상부 생육이 도장하는 것을 방지하고 괴경 형성을 촉진하기 위하여 봄 재배보다 5일 일찍 괴경 형성처리(정식 후 35일 경 pH 4이하로 24시간 처리)를 하여 식물체가 생식생장기로 전환하였기 때문으로 판단되었다.

감자가 생육함에 따라 지상부 생육은 씨감자에 의한 영향 이외도 온도와 일장 조건에 따라 영향을 받는다(Bodalanedar, 1963; Burton, 1966)고 하였고, Ingram and Mccloud(1984)는 감자 지상부 생육은 22-24°C가 적온이라 하였는데 일반적으로 고온은 지상부 생육을 촉진하는데, 봄재배 시(3월 중순-4월 중순)보다 가을재배시(9월 중순-10월 중순) 영양생장기간 동안의 평균온도와 적산온도가 높아 가을재배에서 지상부 생육이 왕성한 것으로 판단되었다.

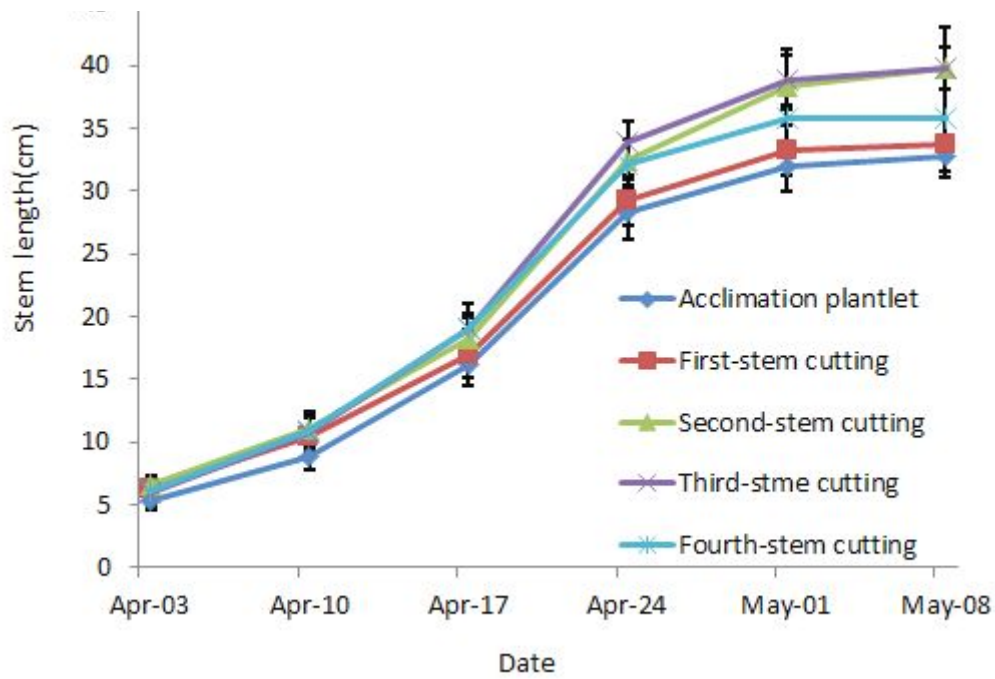


Fig. 4. Changes of stem lengths of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.

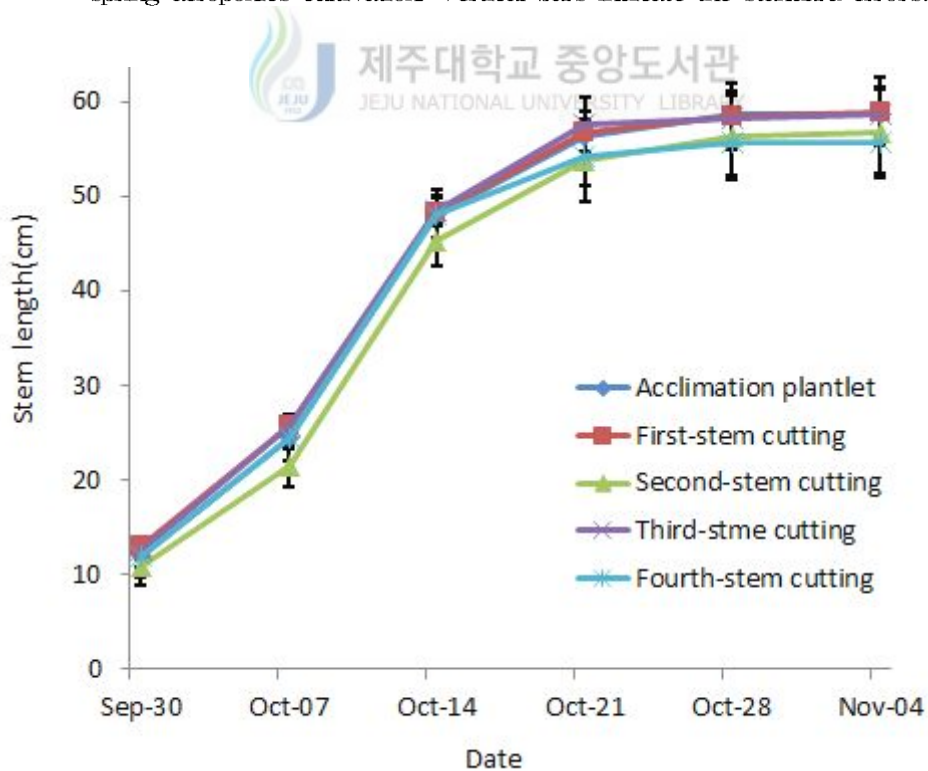


Fig. 5. Changes of stem lengths of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.

봄 재배 시 조직배양 순화묘와 경삽 차수에 따른 경삽묘 지상부 생육 특성은 Table 4와 같은데, 처리별로 경장은 32.7-39.8cm로 3차 경삽묘 39.8cm, 2차 경삽묘 39.7cm로 길었으며, 4차 경삽묘 35.9cm, 1차 경삽묘 33.7cm, 배양순화묘 32.7cm순으로 작은 경향을 보였다. 마디수는 12.0-12.5개, 줄기 굵기는 5.9-6.4mm로 처리 간 차이가 없었다. 지상부 주당 생체중은 66.4-80.0g으로 2차 경삽묘가 80.0g으로 가장 무거웠으며, 2차 경삽묘-4차 경삽묘 간 유의성이 없었고, 무발근묘 66.4g, 1차 경삽묘 68.7g으로 타 처리에 비하여 가벼웠다, 봄 재배 시 지상부 생육은 2차 경삽묘-4차 경삽묘에서 비교적 왕성한 경향을 보였다.

봄 재배 시 조직배양 순화묘와 경삽 차수에 따른 경삽묘 지하부 생육 특성은 Table 5와 같다. 처리별로 복지장은 43.2-47.8cm로 처리 간 별 차이를 보이지 않았다. 지하부 주당 생체중은 16.6-25.0g으로 조직배양 순화묘 19.7g, 1차 경삽묘 16.6g으로 가벼웠고, 경삽 차수가 많아짐에 따라 무거워지는 경향이였다. 1차 복지수는 조직배양 순화묘가 8.1개로 가장 많았으며 그 외 처리에서는 4.8-6.4개로 처리 간 유의성이 없었다. 2차 복지수는 17.7-34.4개로 1차 복지수와 마찬가지로 조직배양 순화묘에서 34.4개로 가장 많았으며 경삽하는 차수가 많아짐에 따라 적어지는 경향을 보였다.

Kim et al.(1999)은 감자 분무경 재배시 pH 저하에 따른 감자 소피경 형성촉진에서 1차 복지수는 5.7-6.2개정도 발생하였고, pH 3.0 처리에서 2차 복지수 많이 발생되었고, 피경 수도 증가되는 것으로 보아 피경수 증가를 위해서는 2차 복지수가 증가 되어야 한다고 보고하였는데, 본 연구에서도 조직배양 순화묘가 경삽묘보다 복지수가 많이 발생하여 피경 수가 증가한 원인으로 판단되었다.

Table 4. Shoot growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Acclimation plantlet	32.7c ^z	12.5a	5.9a	66.4c
First-stem cutting	33.7c	12.0a	6.0a	68.7bc
Second-stem cutting	39.7a	12.6a	6.3a	80.0a
Third-stem cutting	39.8a	12.4a	6.3a	77.5ab
Fourth-stem cutting	35.9b	12.1a	6.4a	76.3ab

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 5. Root growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1st-stolons	No. of 2nd-stolons
Acclimation plantlet	45.9a ^z	19.7ab	8.1a	34.4a
First-stem cutting	43.2a	16.6b	6.4b	28.0b
Second-stem cutting	46.0a	21.5a	4.9b	21.9c
Third-stem cutting	47.8a	25.0a	4.8b	19.6cd
Fourth-stem cutting	46.1a	24.0a	4.9b	17.7d

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

가을 재배 시 조직배양 순화묘와 경삼 차수에 따른 경삼묘 지상부 생육 특성은 Table 6과 같다. 처리별로 경장은 55.7-58.9cm, 줄기 굵기는 6.4-6.9mm, 주당 생체중은 65.9 -79.4g으로 봄 재배와 달리 처리 간 유의성을 보이지 않았으며, 마디수는 배양 순화묘가 15.6, 3차 경삼묘 15.5개로 많았으며 그 외 처리 간 차이가 없었다. 가을 재배 시 처리 간 큰 차이를 보이지 않은 것은 묘 종류에 관계없이 정식 초기의 기온이 봄 재배와 달리 저온을 경과하지 않아 초기 활착이 양호하였으며 영양생장기의 기온이 높아 감자 생육에 양호한 조건이었기 때문이라 판단되었다.

가을 재배 시 조직배양 순화묘와 경삼 차수에 따른 경삼묘 지하부 생육 특성은 Table 7과 같다. 처리별로 복지장은 46.0-50.8cm, 지하부 주당 생체중은 11.9-16.0g으로 처리 간 별 차이가 없었다. 1차 복지수는 2.8-8.1개로 배양순화묘가 가장 많았으며 경삼하는 차수가 많아짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 2차 복지수는 9.6-38.2개로 1차 복지수와 유사한 경향을 보여 조직배양 순화묘에서 38.2개, 1차 경삼묘가 24.5개로 많았으며 2차 경삼묘-4차 경삼묘간에는 처리 간 유의성은 없었다. 2차 복지수는 조직배양 순화묘를 경삼하는 차수가 많아짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 본 시험 가을재배에서 복지의 형성은 봄 재배와 달리 생육 후반기 저온 단일 조건이 되면서 지하부 마디 윗부분에서 1차 복지가 형성되거나, 1차 복지에서 2차복지가 형성되는 것을 관찰할 수 있었는데, 생육 후반기에 괴경이 형성되어도 괴경 비대기간이 충분하지 못하여 농업적으로 유효한 괴경을 생산하지 못하는 결과를 나타내었다.

봄 재배 시에 조직배양 순화묘보다 경삼묘가 지상부 생육이 양호하게 나타났고, 경삼 차수별로 1차 경삼묘-4차 경삼묘에서 별 차이가 없었는데 이는 이전의 보고 (Chang et al., 1998; Kim et al., 1996; 윤 등, 1998)와 유사하였다. Kim et al(2002)은 감자 경삼묘 이식시 뿌리에 붙어있는 입자 제거에 노력이 많이 들고, 뿌리가 새롭게 나오는 과정에서 어린 묘가 경화되므로 생육이 일시 정지되는 문제점이 발생한다고 하였으나 본 연구에서는 결과를 확인할 수가 없었다.

복지의 신장은 지상부 줄기에 좋은 조건 즉 고온이며 일장 시간이 긴 조건에서 촉진되는데 지상부 생육에 양호한 기상인 가을재배에서 봄 재배보다 조직배양 순화묘, 1차 경삼묘, 2차 경삼묘에서는 복지 길이가 길었으나, 3차 경삼묘와 4차 경삼묘에서는 별 차이를 보이지 않았다.

Table 6. Shoot growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Acclimation plantlet	58.7a ^z	15.6a	6.4a	65.9a
First-stem cutting	58.9a	14.5b	6.6a	76.4a
Second-stem cutting	56.8a	14.5b	6.5a	73.7a
Third-stem cutting	58.7a	15.5a	6.9a	79.4a
Fourth-stem cutting	55.7a	14.2b	6.4a	69.4a

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.



Table 7. Root growth characteristics of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1st-stolon	No. of 2nd-stolon
Acclimation plantlet	48.5a ^z	11.9a	8.1a	38.2a
First-stem cutting	49.1a	16.0a	6.0b	24.5b
Second-stem cutting	50.8a	15.5a	3.8c	14.1c
Third-stem cutting	47.9a	15.7a	3.7c	13.1c
Fourth-stem cutting	46.0a	13.2a	2.8d	9.6c

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(3) 소피경 수량성

봄 재배 시 조직배양 순화묘와 경삽하는 차수에 따른 경삽묘의 주당 크기별 피경수 및 수량 특성은 Table 8과 같다. 처리별로 주당 총 피경수는 16.37-34.96개로 조직배양 순화묘에서 34.96개로 가장 많았고, 1차 경삽묘 21.63개, 2차 경삽묘 19.66개, 3차 경삽묘 17.01개, 4차 경삽 16.37개 순으로 조직배양 순화묘부터 경삽하는 차수가 많아질수록 피경 수는 감소하는 경향을 보였다.

수경재배에 의하여 생산된 소피경을 이용한 후대 생산성 검정에서 Kang et al.(1995)은 5g 이상, Kim et al.(1998)과 Kim et al.(2002)은 3g 이상이면 포장재배가 쉽고 수량 감소가 적어 씨감자로 사용하기에 적합하다고 보고하였는데, 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 피경수는 13.00-16.96개로 조직배양 순화묘 16.96개, 1차 경삽묘 14.53개로 많았으며, 4차 경삽묘가 13.00개로 가장 적었으며, 1차 경삽묘-3차 경삽묘는 처리 간 유의성이 없었다.

처리별로 평균 피경중은 5.0-9.8g으로 경삽하는 차수가 많아질수록 무거워지는 경향이었는데, 이는 경삽하는 차수가 많아질수록 피경 수가 감소하여 상대적으로 피경 간 양분 경합이 적었기 때문으로 판단되었다. 주당 총 피경중은 141.9-173.4g으로 조직배양 순화묘가 173.4g으로 가장 많은 경향이었으나 조직배양 순화묘와, 1차 경삽묘-3차 경삽묘 간에 유의성이 인정되지 않았고, 4차 경삽묘는 141.9g으로 가장 적었다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 피경중은 135.9-162.7g으로 3차 경삽묘가 162.7g 가장 많은 경향을 보였고, 총 피경중과 마찬가지로 4차 경삽묘 135.9g으로 가장 적었고, 그 외 처리 간 유의성이 인정되지 않았다.

크기별로 피경수 분포 비율은 Fig. 6과 같이 10g 이하가 대부분을 차지하여 처리별로 57.3-87.1% 분포를 보였고, 30g이상 크기는 거의 분포하지 않았다. 특히, 조직배양 순화묘에서 씨감자로 사용하기에 부적합한 3g 미만 크기 분포 비율이 51%로 높게 나타났고, 3g 미만 피경수가 18.00개로 타 처리보다 월등히 많아 차후 피경 비대 축진을 위한 추가 연구가 필요하다고 판단되었다.

Table 8. Number of tubers and yield per plant of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type ^z	Number of tuber per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	3g ≤ (B)	Total (B)			3g ≤ (C)	Total (D)	
A-P	18.00 ^y	5.73a	6.67a	3.83a	0.60b	0.10a	0.03a	16.96a	34.96a	49	5.0d	143.2ab	173.4a	83	
1 st -S	7.10b	3.23b	6.03ab	4.53a	0.67b	0.07a	0.00a	14.53ab	21.63b	67	7.8c	158.7ab	169.7a	94	
2 nd -S	5.73b	2.43b	5.30b	4.73a	1.30a	0.17a	0.00a	13.93b	19.66b	71	8.4bc	156.2ab	164.3a	95	
3 rd -S	2.80c	3.17b	3.80c	5.30a	1.67a	0.27a	0.00a	14.21b	17.01c	84	9.8a	162.7a	167.1a	97	
4 th -S	3.37c	2.37b	4.30c	4.53a	1.57a	0.23a	0.00a	13.00c	16.37c	79	8.7b	135.9b	141.9b	96	

^z A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

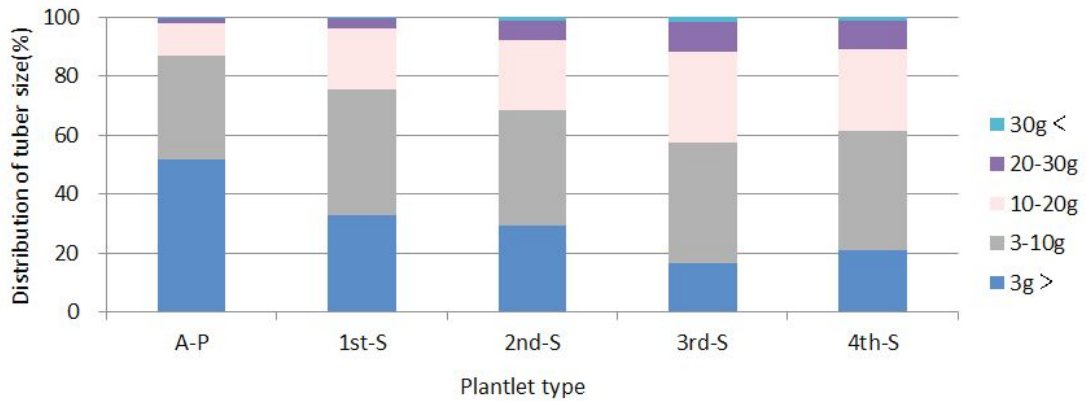


Fig. 6. Distribution of tuber size of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in spring aeroponics cultivation. A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting.

가을재배 시 조직배양 순화묘와 경삽하는 차수에 따른 경삽묘의 주당 크기별 괴경 수 및 수량특성은 Table 9와 같다. 처리별로 주당 총 괴경 수는 7.77-16.47개로 조직배양 순화묘에서 16.47개로 가장 많았다. 1차 경삽묘-3차 경삽묘는 9.27-10.60개로 처리 간 유의성이 인정되지 않았고, 4차 경삽묘는 7.77개로 가장 적게 나타났으며 봄재배 시와 유사한 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경 수는 5.00-9.44개로 조직배양 순화묘에서 9.44개로 가장 많이 생산되었고, 경삽하는 차수가 많아질수록 감소하는 경향을 보였다.

봄 재배보다 가을재배 시 괴경 수가 적은 이유는 보통 괴경 형성은 정식 후 30일 전후로 괴경 형성이 시작 되는데, 가을재배에서는 정식부터 괴경 형성기까지 온도가 높아 괴경 형성에 불리하게 작용하였기 때문으로 판단되었다.

처리별로 평균 괴경중은 8.7-17.7g으로 경삽하는 차수가 많아질수록 무거워지는 경향이였다. 주당 총 괴경중은 91.7-99.8g으로 2차 경삽묘와 3차 경삽묘에서 99.8g으로 무거웠으나 처리 간 유의성이 인정되지 않았다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 1차 경삽묘-3차 경삽묘는 92.7-95.6g으로 처리 간 차이가 없었으며, 조직배양 순화묘에서 82.0g, 4차 경삽묘 88.4g으로 다소 적은 경향을 보였다.

Table 9. Number of tubers and yield per plant of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type ^z	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
A-P	7.03a ^y	2.60a	3.57a	2.87a	0.37b	0.03d	0.00a	9.44a	16.47a	57	8.7d	82.0b	91.7a	89	
1 st -S	3.50b	0.77b	1.90b	3.13a	1.00a	0.27c	0.03a	7.10b	10.60b	67	13.4c	95.1a	99.8a	95	
2 nd -S	3.77b	0.73b	1.40c	1.97b	1.33a	0.67b	0.03a	6.13c	9.90b	62	15.6b	95.6a	99.8a	96	
3 rd -S	3.70b	0.97b	0.93d	1.43c	1.27a	0.87a	0.10a	5.57d	9.27bc	61	16.6ab	92.7a	96.5a	96	
4 th -S	2.77b	0.70b	0.93d	1.33c	1.00a	0.87a	0.17a	5.00e	7.77c	64	17.7a	88.4ab	92.4a	96	

^z A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

크기별로 괴경수 분포 비율은 Fig. 7과 같이 괴경 크기가 10g 이하가 대부분을 차지하여 처리별로 58.2-80.2%로 나타났으며, 3g이하 비율이 처리별로 33.0-42.7%로 가장 높게 나타났다. 이는 기온이 높으면 괴경 형성이 지연되는데(Borash, 1962), 생육 초기 기온이 높아 괴경 형성 시기가 연장되어 늦게 착생된 괴경이 생육 후반기에 기온과 일조량이 낮아 충분한 비대가 이루어지지 않았기 때문으로 판단 되었다.

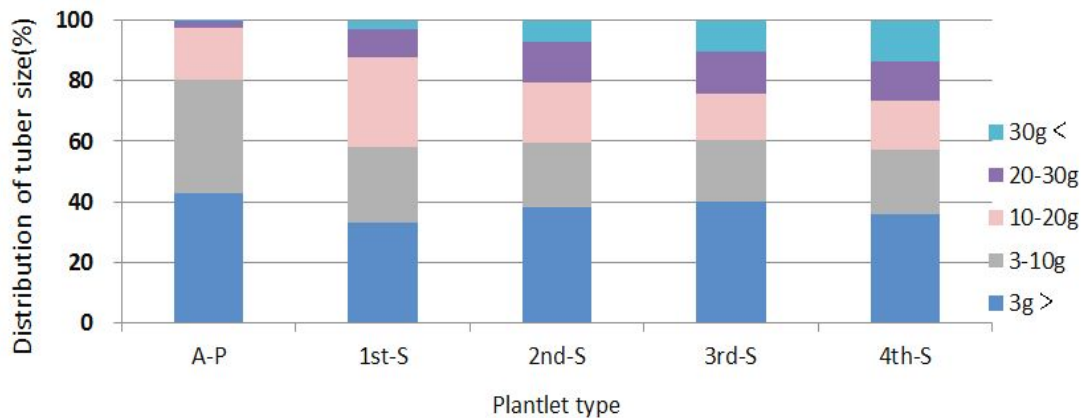


Fig. 7. Distribution of tuber size of stem cutting plantlets and acclimation plantlet in autumn aeroponics cultivation. A-P, Acclimation plantlet; 1st-S, First-stem cutting; 2nd-S, Second-stem cutting; 3rd-S, Third-stem cutting; 4th-S, Fourth-stem cutting.

조직배양 순화묘가 경삼묘에 비하여 괴경수가 많았던 결과는 Kim et al.(1997)의 연구결과와 일치하였으나, Kim et al.(1996)의 연구결과와 상이한 결과를 보였는데, 이는 정식 시 묘소질이 조직배양 순화묘보다 1차 경삼묘가 우수했고 재배 시기가 달랐기 때문에 나타난 결과로 해석되며, 재배 환경이나 육묘 방법에 따라 생산성에 차이가 있음을 알 수 있었다.

윤 등(1998)은 경삼묘를 1회 - 3회 채취하여 수경재배 시 봄 재배에서는 총 괴경 수와 괴경중에 있어 별 차이를 보이지 않았다는 보고와 본 시험 결과는 일치하였으나, 가을재배에서는 총 괴경수, 5g이상 괴경 수, 괴경중에 있어 3차 경삼묘에서 높았다는 보고와 다소 차이가 있었는데, 이는 본 시험과 정식, 수확시기가 다르고 재배 조건 등에 차이로 나타나 결과로 판단되었다.

봄에 생산한 소피경 씨감자는 가을재배 채종용 종서로 이용된다. 가을재배는 보통 8월 말-9월 초에 파종을 하는데 이시기는 고온과 집중 강우로 종서를 절단하면 부패되기 쉽기 때문에 보통 통감자로 파종 하는 점을 고려할 때, 봄 재배 소피경 씨감자 생산에 피경 수는 중요한 요인이라 할 수 있다. 본 시험에서 조직배양 순화묘가 총 피경 수가 가장 많았고, 분무경 수경재배에서 정식묘로 사용하기에는 묘 활력은 우수하지만 대량생산하려면 배양시설과 조직배양 전문 인력을 확보해야 하는데, 배양 시설은 비용이 너무 비싸고, 배양 전문 인력 확보가 현실적으로 어려워 대량 생산이 어렵다. 따라서 손쉽게 묘를 증식할 수 있는 경삽묘를 이용하는 것이 효율적이고, 조직배양 순화묘와 3g 이상 피경 수와 큰 차이가 나지 않은 1차 경삽묘- 3차 경삽묘까지 봄 재배 시 분무경 수경재배 정식용 묘로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

가을에 생산한 소피경 씨감자는 봄재배 채종용 종서로 이용된다. 봄재배는 보통 2월 말-3월 초에 파종을 하는데 기온이 높지 않아 발아 시까지 부패우려가 없다. 따라서, 가을 재배 소피경 씨감자 생산에 피경 수와 더불어 피경중도 고려해야 할 사항이다. 본 시험 결과 가을재배에서 수경재배 소피경 씨감자를 생산할 때 3g 이상 피경 수는 1차 경삽묘-3차 경삽묘가 조직배양 순화묘보다 적었지만, 3g 이상 피경중은 조직배양 순화묘와 4차 경삽묘보다 무거워 봄재배와 마찬가지로 1차 경삽묘-3차 경삽묘까지 가을 재배 시 분무경 수경재배 정식용 묘로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.



Fig. 8. Mini-tubers of stem cutting plantlets and acclimation plantlet at harvesting time in spring aeroponics cultivation.

2) 경삼 육묘 기간이 식물체 성장 및 소괴경 형성에 미치는 영향

(1) 묘 소질

1차 경삼묘 줄기를 절단하여 바로 정식하는 무발근묘와 펄라이트 상토에 경삼한 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삼묘의 소질은 Table 10, Fig. 9와 같다. 삽식을 하지 않고 바로 정식하는 무발근묘는 최대한 경삼묘 기부에서 줄기를 잘라 정식 시 활착이 잘 되도록 묘를 생산하였다. 무발근묘는 경삼묘에서 나타나는 뿌리 썩음병 (Hong et al., 2004)을 방지할 수 있고, 경삼묘 생산 시 육묘 기간이 소요되므로 정식 시기가 늦어질 경우 육묘 기간을 단축할 수 있는 묘 생산 방법으로 이용 가능하여 본 시험에 재료로 사용하여 생육과 수량성을 검토하였다. 경삼 후 육묘 기간이 길수록 묘장은 길어지고, 묘 마디수도 많아지는 경향이었는데, 이는 경삼하는 기간이 길어짐에 따라 묘 생육이 진전되었기 때문으로 판단되었다. 또한 경삼 기간이 길어짐에 따라 묘 굵기와 엽 면적이 증가되는 것을 관찰할 수 있었다.



Table 10. Characteristics of plantlet quality used for this experiment.

Plantlet type	Spring cultivation		Autumn cultivation	
	Length (cm)	No. of nodes	Length (cm)	No. of nodes
Non-rooted stem cutting	10.2c ^y	3.8c	13.7b	5.5b
15 DOS ^z cutting	7.6d	3.7c	8.0c	4.3c
25 DOS cutting	14.0b	5.3b	15.5b	5.3bc
35 DOS cutting	18.3a	7.2a	20.8a	6.8a

^z Days-old stem.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.



Fig. 9. Plantlets of days old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting at transplanting time.

(2) 식물체 생장



봄 재배 시 1차 경삽묘에서 줄기를 절단하여 바로 정식한 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삽묘를 3월 14일에 정식하여 20일 경과 된 후부터 55일까지 지상부 경장 변화는 Fig. 10과 같다. 처리별로 경장은 28.5-37.9cm로 초기 활착이 늦었고, 영양생장 초기에 저온으로 지상부 생육이 부진 하였다. 모든 처리에 있어 정식 30일 이후에 기온 상승과 더불어 왕성한 성장을 보였는데, Chae et al.(2008)은 봄재배 시 경삽묘를 이용하여 분무경 재배시 정식 후 30일-45일 사이 가장 왕성한 성장을 보였고 그 이후는 완만한 성장을 하였다는 보고와 일치하였다.

가을 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 경삽묘를 정식하여 20일 경과 후부터 55일까지 지상부 경장 변화는 Fig. 11과 같다. 경장은 51.2-58.2cm로 봄 재배와 유사하게 경삽 기간이 길수록 경장은 증가하는 경향이였다. 가을재배에서 봄 재배와 달리 정식 초부터 경장이 증가하여 35일 이전까지 왕성한 성장을 보였다. 이는 정식초기에 활착이 빨랐고, 영양생장기 동안 기온이 지상부 생육에 양호한 조건으로 경과하였기 때문으로 판단되었다. 괴경 형성 유도를 위해 pH를 4이하로 24시간 유지한 35일경 이후에는 생식생장기로 전환되어 완만한 성장을 보였다.

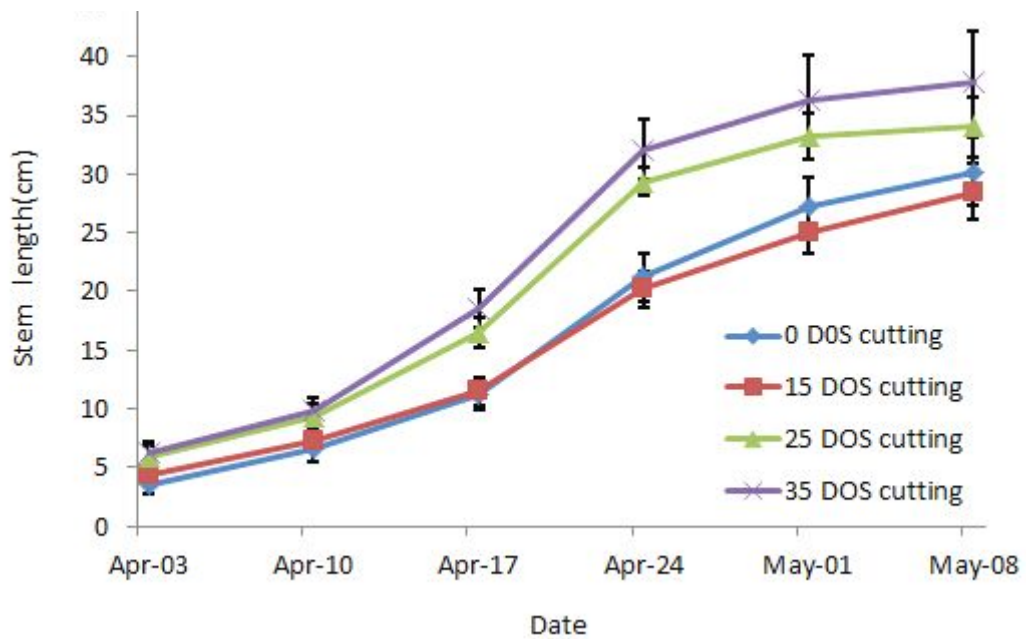


Fig. 10. Changes of stem length of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.

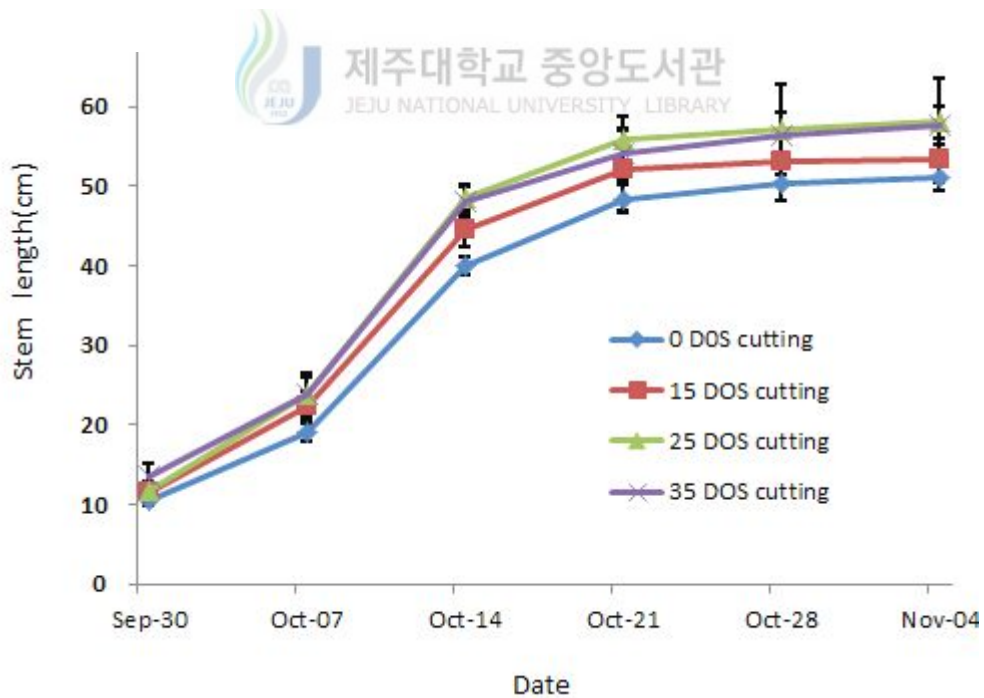


Fig. 11. Changes of stem length of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation. Vertical bars indicate the standard errors.

봄 재배 시 1차 경삽묘에서 줄기를 절단하여 바로 정식한 무발근묘와 1차 경삽묘에서 줄기를 경삽한 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삽묘의 지상부 생육 특성은 Table 11과 같다. 처리별로 경장은 28.5-37.9cm, 줄기 굵기는 5.5-6.6mm로 경삽 후 육묘 기간이 길어짐에 따라 생육이 양호하였다. 마디수는 11.9-12.7개로 처리 간 차이가 없었으며, 지상부 주당 생체중은 67.2-81.8g으로 무발근묘가 67.2g으로 다른 처리에 비해 적었으며 경삽묘 육묘 기간 간에는 차이가 없었다.

봄 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 지하부 생육특성은 Table 12와 같다. 처리별로 복지장은 39.6-40.7cm로 처리 간 차이를 보이지 않았고, 주당 지하부 생체중은 17.9-25.0g으로 무발근묘가 17.9g으로 가장 적었고, 15일 경삽묘-35일 경삽묘 간에 유의성은 없었다. 이는 줄기를 경삽을 하지 않고 바로 정식하는 무발근묘는 뿌리가 없기 때문에 새 뿌리가 발생하는데 시간이 소요되어 활착이 늦어져 지하부 생체중이 적은 것으로 판단되었다. 1차 복지수는 4.0-5.5개로 35일 경삽묘에서 5.5개로 가장 많았다. 2차 복지수는 13.4-18.4로 15일 경삽묘에서 13.4개로 가장 적었고, 그 외 처리 간 유의성을 보이지 않았다.



Table 11. Shoot growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Non-rooted stem cutting	30.2c ^y	12.7a	5.5b	67.2b
15 DOS ^z cutting	28.5c	12.0a	5.7b	73.7ab
25 DOS cutting	34.0b	12.5a	6.2a	76.7a
35 DOS cutting	37.9a	11.9a	6.6a	81.8a

^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 12. Root growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1 st -Stolons	No. of 2 nd -Stolons
Non-rooted stem cutting	40.6a ^y	17.9b	5.2a	18.4a
15 DOS ^z cutting	39.6a	22.8a	4.0b	13.4b
25 DOS cutting	40.7a	25.0a	5.1a	15.5ab
35 DOS cutting	40.7a	22.0a	5.5a	18.1a

^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

가을재배 시 1차 경삽묘에서 줄기를 절단하여 바로 정식한 무발근묘와 1차 경삽묘에서 줄기를 경삽한 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삽묘의 지상부 생육 특성은 Table 13과 같다. 처리별로 경장은 51.2-58.2cm로 25일 경삽묘와 35일 경삽묘에서 각각 58.2cm, 57.6cm로 길었으며, 무발근묘와 15일 경삽묘는 각각 51.2cm, 53.3cm로 작은 경향을 보였다. 마디 수는 13.2-14.4개로 묘 줄기를 경삽하지 않고 즉시 정식한 무발근묘에서 13.2개로 가장 적었고, 경삽 후 육묘기간 간 처리에서 서로 비슷하였다. 줄기 굵기는 6.5-6.9mm로 처리 간 차이가 없었으며, 주당 지상부 생체중은 84.8-99.2g으로 지상부 경장과 비슷한 경향을 보였고, 봄 재배와 유사하게 경삽 후 육묘 기간이 길수록 지상부 생육은 왕성한 경향을 보였다.

가을재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 지하부 생육특성은 Table 14와 같다. 처리별로 복지장은 45.4-52.5cm로 25일 경삽묘와 35일 경삽묘에서 52.5cm, 50.3cm로 길었고 지상부 경장과 비슷한 경향을 보였다. 지하부 주당 생체중은 11.8-16.9g으로 경삽 후 육묘 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 1차 복지수는 4.0-4.7개로 무발근묘에서 4.7개로 가장 많았으며, 경삽 후 육묘 기간 간에는 경삽 후 육묘 기간이 길수록 많아지는 경향이였다. 2차 복지수는 12.9-17.7개로 무발근묘에서 가장 많았으며, 15일 경삽묘-35일 경삽묘 간에는 12.9-14.6개로 서로 비슷하였다.

Table 13. Shoot growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Non-rooted stem cutting	51.2b ^y	13.2b	6.5a	84.8c
15 DOS ^z cutting	53.3b	14.1a	6.6a	94.1b
25 DOS cutting	58.2a	14.4a	6.9a	99.2a
35 DOS cutting	57.6a	14.0a	6.9a	96.3ab

^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 14. Root growth characteristics of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1 st -Stolons	No. of 2 nd -Stolons
Non-rooted stem cutting	45.4c ^y	11.8c	4.7a	17.7a
15 DOS ^z cutting	47.0bc	13.4bc	4.0c	12.9b
25 DOS cutting	52.5a	15.6ab	4.1bc	14.6b
35 DOS cutting	50.3ab	16.9a	4.4ab	13.9b

^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

본 시험에서 복지수가 무발근묘가 경삼묘보다 많았던 것은 앞 경삼 차수 시험 결과에서 1차 경삼묘가 2차 경삼묘보다 복지수가 많게 나타난 결과와 같이, 무발근묘는 육묘를 하지 않고 바로 정식한 1차 경삼묘로, 펄라이트상에서 육묘한 2차 경삼묘보다 조직 배양 순화묘에 가까워 나타난 결과로 판단되었다. 또한, 경삼 후 육묘 기간이 길어질수록 지상부 생육이 양호한 본 시험 결과는 20일 경삼묘부터 50일 경삼묘까지 10일 간격으로 육묘한 경삼묘에서 경삼기간이 길수록 경장과 생체중은 증가하는 경향이었던 보고(Chae et al., 2008)와 유사하였는데, 이는 경삼 육묘 일수가 길어짐에 따라 묘가 충실해져 정식 초기에 기상 환경에 견디는 힘이 강해 일찍 활착하였기 때문으로 판단되었다.

하지만 Kim et al.(1996)은 경삼시 배양토를 이용하면 이식시 뿌리에 붙어 있는 입자 제거에 많은 노력이 들고, 발근 과정에서 어린 묘가 경화되므로 생육이 일시 정지되는 문제점이 발생한다고 하였는데, 본 시험에서 육묘기간이 35일까지로 육묘시 육묘 기간이 길어짐에 지상부 생육은 양호하게 나타나 상이한 결과를 보였다. 경삼묘를 육묘할 때 육묘 환경, 재배 관리에 따라 묘 소질이 달라질 수 있고, 경삼묘를 정식 하는 환경, 재배 조건 등에 따라 생육에 변화가 있을 것으로 예측 되어 경삼묘 육묘기간, 육묘 조건 등에 따른 묘 노화 정도, 정식 시 기상환경, 재배 조건 등에 따른 생육변화에 대한 추후 검토가 필요하다 생각되었다.

(3) 소피경 수량성

봄 재배 시 1차 경삼묘에서 줄기를 절단하여 바로 정식한 무발근묘와 1차 경삼묘에서 줄기를 경삼한 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삼묘의 주당 크기별 피경 수 및 수량 특성은 Table 15와 같다. 처리별로 주당 총 피경 수는 12.13-18.39개로 25일 경삼묘가 18.39개, 35일 경삼묘가 16.34개로 많았고, 무발근묘와 15일 경삼묘는 각각 12.83개, 12.13개로 적게 나타났다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 피경 수는 8.93-14.09개로 25일 경삼묘 14.09개, 35일 경삼묘 12.54개로 많았으며, 총 피경 수와 유사하게 나타나 25일 경삼묘, 35일 경삼묘에서 많았다.

Table 15. Number of tubers and yield per plant of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.

Plantlet type	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
Non-rooted stem cutting	3.53a ^y	2.90a	2.43bc	3.37b	0.47c	0.13c	0.00a	9.30b	12.88b	72	9.5a	115.6b	122.4b	94	
15 DOS ^z cutting	3.20a	1.60b	2.03c	3.40b	1.10b	0.73a	0.07a	8.93b	12.13b	74	10.5a	123.8b	127.8b	97	
25 DOS cutting	4.30a	2.47ab	4.33a	5.20a	1.83a	0.23bc	0.03a	14.09a	18.39a	77	9.1a	162.5a	168.2a	97	
35 DOS cutting	3.80a	1.67b	3.67ab	5.30a	1.47ab	0.40b	0.03a	12.54a	16.34a	77	9.8a	154.8a	160.0a	97	

^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

봄 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 평균 괴경중은 처리별로 9.1-10.5g으로 처리 간 차이가 없었고, 총 괴경중은 122.4-168.2g으로 25일 경삽묘 168.2g, 35일 경삽묘 160.0g으로 많았으며, 15일 경삽묘 127.8g, 무발근묘 122.4g으로 적은 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 처리별로 115.6-162.5g으로 총 괴경중과 비슷한 경향을 보였다. 이는 괴경 수에 영향을 받은 것으로 무발근묘와 15일 경삽묘를 봄에 정식 시 묘가 연약하여 저온에 민감하여 초기 활착이 늦어졌기 때문으로 판단되었다.

봄 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 크기별로 괴경 수 분포 비율은 Fig. 12와 같이 괴경중 10g 이하 분포비율은 처리별로 56.3-69.0%로 대부분을 차지하였고, 20g 이상 분포비율은 처리별로 4.7-15.6%로 무발근묘에서 4.7%로 가장 낮은 분포를 보였다. 이는 정식 초기에 뿌리가 없어 활착이 늦어져 타 처리보다 괴경 형성이 늦어져 충분히 괴경 비대가 되지 않았기 때문으로 판단되었다.

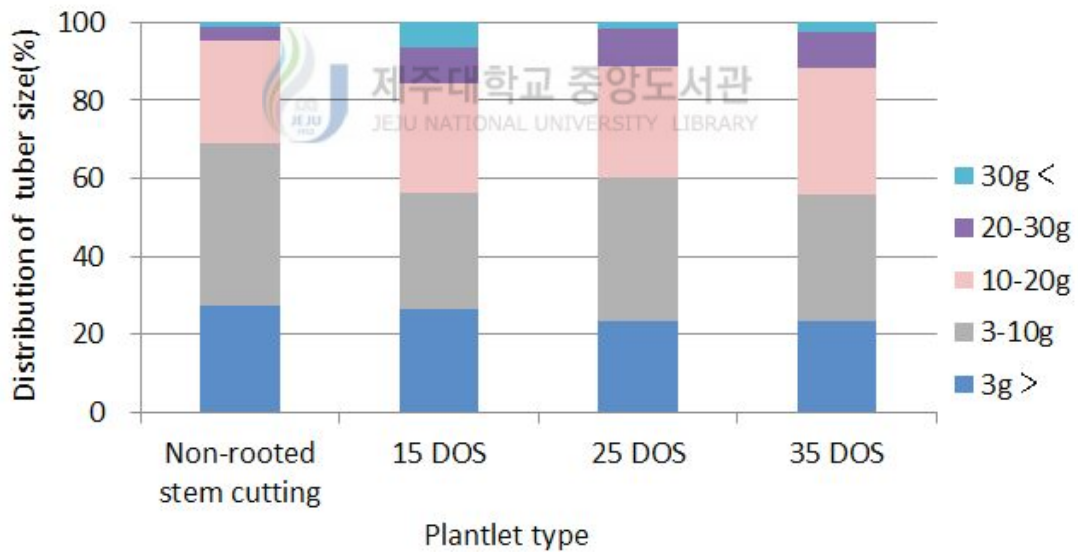


Fig. 12. Distribution of tuber size of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring aeroponics cultivation.

가을 재배 시 1차 경삽묘에서 줄기를 절단하여 바로 정식한 무발근묘와 1차 경삽묘에서 줄기를 경삽한 후 육묘 기간을 달리하여 생산한 2차 경삽묘의 주당 크기별 괴경 수 및 수량 특성은 Table 16과 같다. 처리별로 주당 총 괴경 수는 8.74-10.05개로 35일 경삽묘에서 10.05개, 25일 경삽묘에서 9.80개로 많았고, 15일 경삽묘는 8.74개로 가장 적었다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 수는 5.17-6.80개로 25일 경삽 묘 6.80개, 35일 경삽묘 6.45개로 많았고 무발근묘 5.17개, 15일 경삽묘 5.67개로 적은 경향을 보였다.

가을 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 평균 괴경중은 처리별로 8.9-9.6g으로 처리 간 차이가 없었고, 주당 총 괴경중은 81.9-89.1g으로 35일 경삽묘 89.1g, 25일 경삽묘 87.9g으로 많았으며, 15일 경삽묘 83.8g, 무발근묘 81.9g으로 적어 경삽 후 육묘 기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 처리별로 77.3-84.6g으로 무발근묘에서 77.3g으로 가장 적었고, 경삽묘에서는 경삽 후 육묘 기간이 길수록 증가하는 경향이었으나 경삽묘 육묘기간 간 유의성은 인정되지 않았다.

가을 재배 시 무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 크기별로 괴경 수 분포 비율은 Fig. 13과 같이 괴경 크기가 3g 미만인 괴경수 분포 비율은 30.6-43.6%로 무발근묘에서 43.6%로 가장 높은 경향을 보였는데, 봄 재배와 유사한 경향을 보였다.

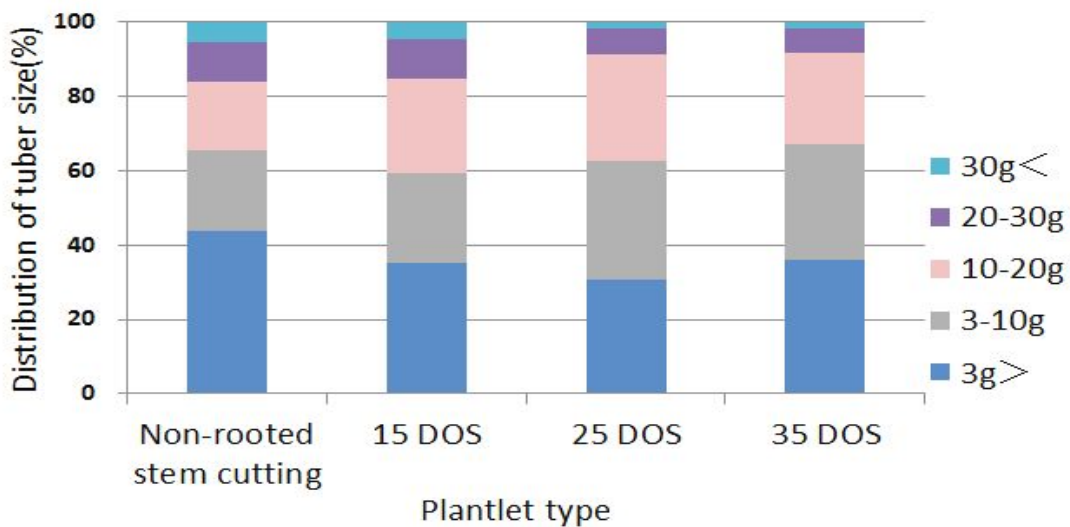


Fig. 13. Distribution of tuber size of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.

Table 16. Number of tubers and yield per plant of days-old stem cuttings and non-rooted stem cutting in autumn aeroponics cultivation.

Plantlet type	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
Non-rooted stem cutting	4.00a ^y	0.73a	1.27b	1.70b	0.97a	0.43a	0.07a	5.17c	9.17bc	57	8.9a	77.3b	81.9b	94	
15 DOS ^z cutting	3.07a	0.87a	1.27b	2.20ab	0.93a	0.37a	0.03a	5.67bc	8.74c	65	9.6a	79.7ab	83.8b	95	
25 DOS cutting	3.00a	1.20a	1.93ab	2.80a	0.70a	0.17a	0.00a	6.80a	9.80ab	69	9.0a	84.2a	87.9a	96	
35 DOS cutting	3.60a	1.07a	2.07a	2.47a	0.67a	0.17a	0.00a	6.45ab	10.05a	64	8.9a	84.6a	89.1a	95	

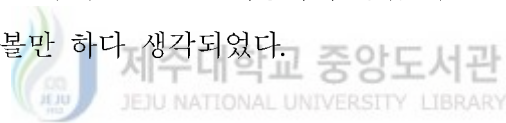
^z Days-old stem cutting.

^y Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Kang et al.(2006)은 육묘 방법에 따른 분무경 수경재배에서 감자 생육 및 수량에 미치는 영향에 있어 수량 특성을 조사한 결과 18일 경삽묘가 무발근묘 보다 괴경 수가 많았다고 보고하였는데 본 시험과 유사한 결과를 보였다.

또한 Chae et al.(2008)은 봄재배에서 20일 경삽묘-40일 경삽묘에서 주당 괴경 수는 차이가 없었다고 하여 본 연구 결과와 유사하였고, 50일 경삽묘에서는 타 처리보다 25%정도 괴경 수가 감소하였는데, 이는 경삽 후 육묘 기간이 길어짐에 따라 묘가 노화되어 삽목상에서 복지가 형성되고 생식생장기로 접어들어 괴경 수가 줄어든다고 하였다. 따라서 본 시험보다 경삽 육묘 기간을 연장하여 경삽실에서 복지 발생여부, 엽면적, 줄기 굵기, 묘를 이식시 스트레스 등에 대하여 종합적으로 검토하여 경삽묘 육묘 기간 한계기를 설정 할 필요가 있다고 생각되었다.

본 시험 결과 분무경 수경재배에서 정식용 묘로 경삽묘을 이용할 때 경삽 후 육묘 기간이 25일 묘와 35일 묘가 대체로 수량이 양호 하였는데 경삽 육묘 기간이 20일 정도 이상일 경우 봄, 가을재배에 무난하다고 판단되었다. 또한 정식 시기가 늦어져 경삽묘 증식이 어려울 때 무발근묘를 이용하여 경삽 육묘 기간을 단축하여 묘를 생산 하는 방법도 고려해볼만 하다 생각되었다.



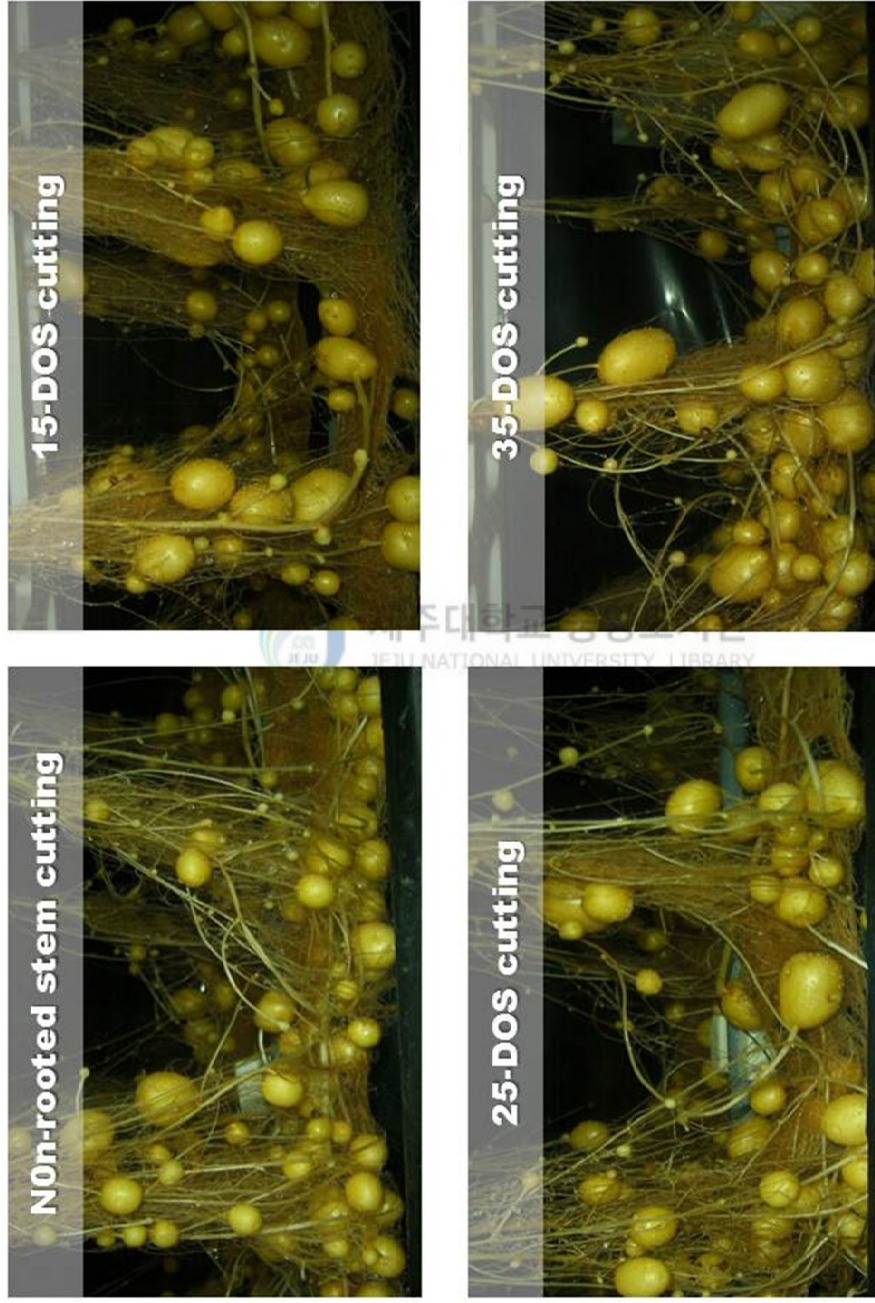


Fig. 14. Mini-tubers of days-old stem (DOS) cuttings and non-rooted stem cutting in spring at harvesting time in spring aeroponics cultivation.

3) 묘 종류별 경제성 분석

앞에서 얻어진 시험 결과, 분무경 재배에서 정식용 묘로 경삽묘를 이용할 경우 3차 경삽묘까지, 경삽 후 육묘기간은 25일 이상 묘에서 생육 및 소피경 수량성이 양호하였다. 이 결과에 따라 분무경 재배에서 주로 사용되는 경삽묘와 조직배양 순화묘 생산비를 농업과학기술 경제성 분석 기준에 따라 1,000m² 소요되는 묘 10,000주를 기준으로 분석하였다(Table 18). 묘 생산방법에 따른 주당 생산비는 조직배양 순화묘가 360원으로 경삽묘(3차 경삽묘까지 생산) 184원보다 약 176원정도 비싸게 생산되었다. 이는 조직배양실 조성을 위한 시설비 및 기자재의 투입비용이 높아 감가상각비와 고정자본 용역비가 1만 주당 944,468원으로 경삽묘보다 2.3배 높고, 기타 재료비와 고용 노임이 비싸기 때문으로 판단되었다.

분무경 수경재배에서 정식용 묘로 조직배양묘를 경삽묘로 대체할 때, 이에 따른 수익 변화를 부분예산법으로 경제성분석을 하였다(Table 17). 분석 결과 경삽묘를 이용할 시 생산성 증가로 인한 수확, 선별, 포장재 등 추가 비용이 발생하나, 묘 생산비가 주당 176원 절감되고, 수량성이 1,000m²당 140kg 증수되어 3,544,000원 이익이 발생하였다.

최초의 성장점 유식물체를 기내 증식을 통하여 생산된 조직배양묘를 정식용 묘로 대량 생산 하기 위해서는 많은 배양전문 인력과, 넓은 배양시설을 갖춰야 하는데, 배양시설을 하는데 막대한 예산이 소요되고, 배양전문 인력확보가 어려울 뿐만 아니라 묘 생산비도 증가하여, 현실적인 면을 고려할 때 조직배양 순화묘 줄기를 여러 차례 줄기 꺾꽂이 하여 만들어진 경삽묘가 효율적이라 할 수 있다.

Table 17. Comparative management analysis of stem cutting compare to acclimation plantlet. (won/1,000m²)

Lost element	Profitable element
○ Additional cost	○ Decreased cost
- Wage(harvest, selection) : 120,000 60,000won × 2 person = 120,000	- Production cost of plantlet : 1,760,000 176won × 10,000plantlet = 1,760,000
- Box cost : 336,000 1,200won × 28box = 336,000	○ increased production : 2,240,000 - 140kg × 16,000won/kg = 2,240,000
Total(B) 456,000	Total(A) 4,000,000
A-B = 3,544,000	

Table 18. Analysis of production cost according to plantlet type at 10,000 plant production level. (unit : won)

Description	Accmilation plantlet	Stem-cutting
Fertilizer costs	39,171	39,454
Fuel and electricity costs	100,000	100,000
Water costs	2,000	5,000
All materials cost	849,500	250,012
The depreciation expense of facilities	539,672	182,754
The depreciation expense of equipment	356,825	176,234
Wages	1,620,000	1,035,000
Sub total	3,507,168	1,788,454
Fixed capital services cost	47,971	9,662
Liquid capital services cost	4,953	1,972
Landed capital services cost	45,000	45,000
Total	3,605,093	1,845,088
Production cost per plant	360	184

2. 경삼묘 정식기가 식물체 생장 및 소괴경 형성에 미치는 영향

1) 기상 요인 분석

본 연구가 수행된 2개년 기상은 Fig. 15와 16과 같은데, 봄 재배 시 온도는 생육기간 중에 점차 상승하여, 정식초기는 저온, 생육 후기에는 고온을 경과하였으며, 일조시간은 생육기간 중 4월 중순에는 잦은 강우와, 생육 후반기인 6월에는 장마로 적게 나타났다. 가을 재배 시 온도는 생육기간 중에 점차 하강하여, 정식초기는 고온, 생육 후반기에는 저온을 경과하여 봄 재배와 서로 다른 양상을 보였다. 가을재배 시 일조시간은 괴경 비대기인 10월 중순이후 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다.

봄 재배기간 동안 정식 시기별로 적산 온도를 계산하면 3월 7일 정식 시 1,717°C, 3월 14일 정식 시 1,782°C, 3월 21일 정식 시, 1,869°C, 3월 28일 정식 시 1,898°C로 정식기가 늦을수록 적산온도는 증가하였다. 반면에 총 일조시간은 3월 7일 정식 시 615시간, 3월 14일 정식 시 603시간, 3월 21일 정식 시 600시간, 3월 28일 정식 시 583 시간으로 정식기가 늦을수록 감소하는 경향을 보였다(Table 19).

가을 재배기간 동안 정식 시기별로 적산 온도를 계산하면 8월 31일 정식 시 1,809°C, 9월 7일 정식 시 1,701°C, 9월 14일 정식 시 1,456°C, 9월 21일 정식 시 1,298°C로 정식기가 늦을수록 적산온도는 감소하였으며, 총 일조시간도 8월 31일 정식 시 573시간, 9월 7일 정식 시 559시간, 9월 14일 정식 시 540시간, 9월 21일 정식 시 461시간으로 정식기가 늦을수록 감소하는 경향을 보였다(Table 20).

우리나라에서 봄 재배와 가을 재배에서의 감자 생육단계별 생태 환경조건은 서로 다른 양상을 보이면서 감자 생육에 관여한다. 감자의 생육 온도에 있어서 출현 후 생육은 21-24°C가 좋고, 괴경 비대는 지온 22°C일 때 가장 증수되며, 29°C 이상에서는 급격한 수량 감소(Epstein, 1966)를 보인다. 일장은 12시간 정도가 괴경 비대에 좋으며(Wheeler et al., 1986), 일사량은 많을수록 괴경 비대가 촉진된다(Haverkort et al., 1986). 이와 같이 감자는 비교적 저온성 작물로 제주에서 이기작 재배를 할 때 봄 재배와 가을 재배 모두 생육 후반기로 갈수록 일조 시간이 짧았고, 괴경 비대기에는 고온이거나 저온으로 감자가 생육하기에는 부적합한 조건이었다.

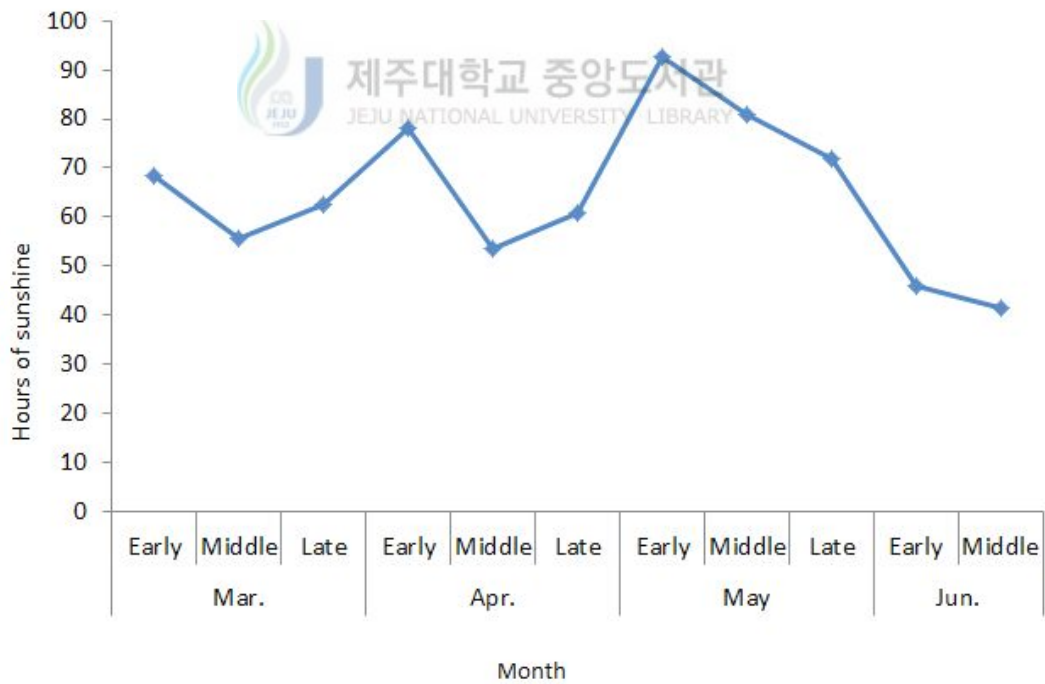
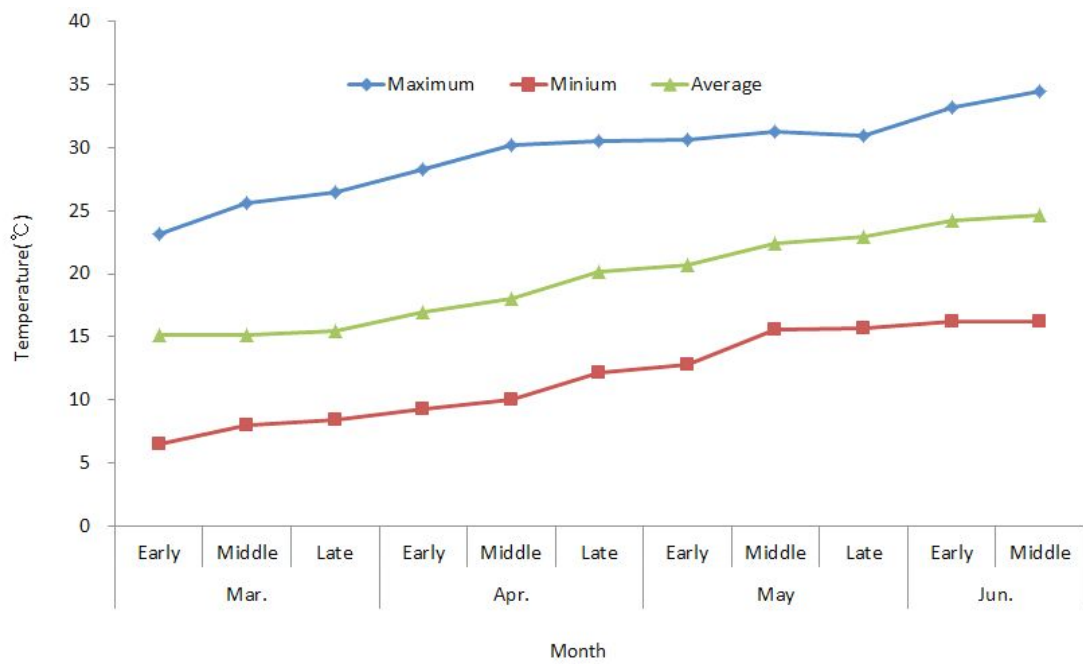


Fig. 15. Temperature (upper) and hours of sunshine (lower) in spring cultivation, 2013-2014.

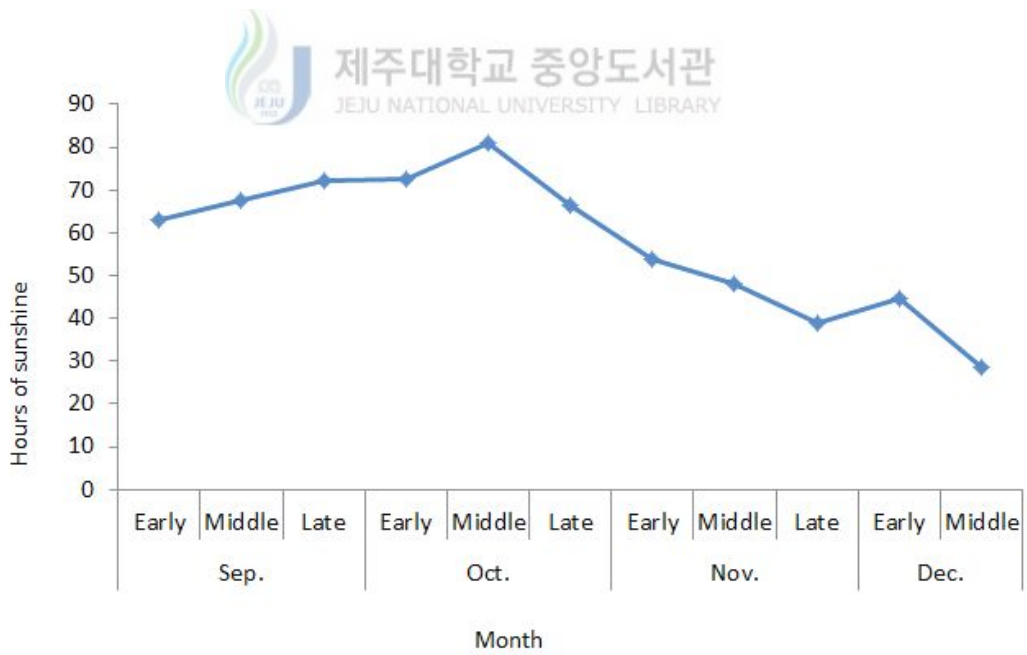
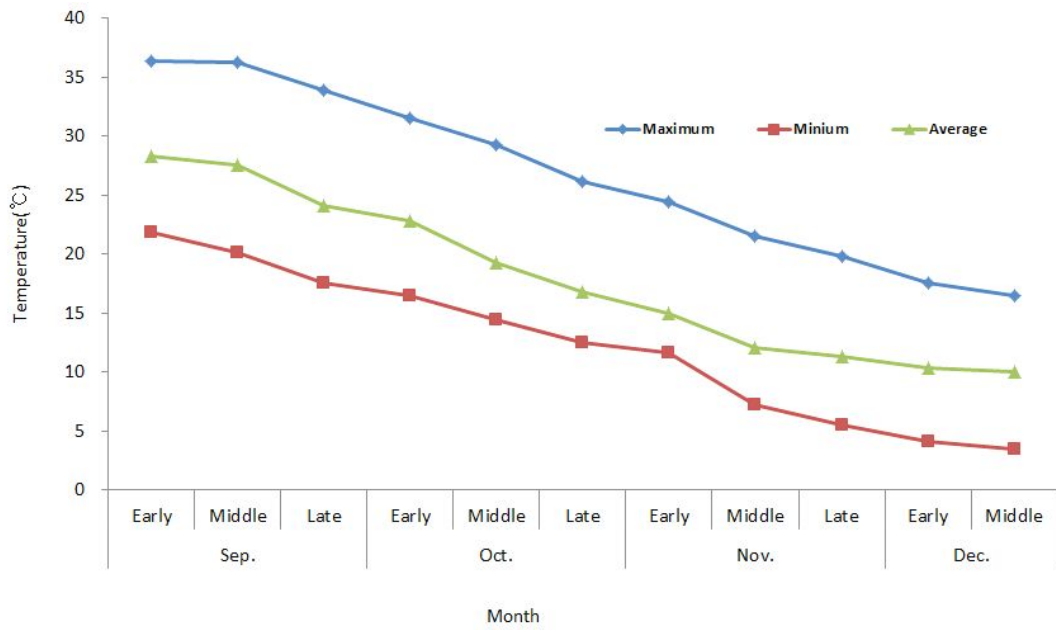


Fig. 16. Temperature (upper) and hours of sunshine (lower) in autumn cultivation, 2012-2013.

Table 19. Sum of average temperatures and hours of sunshine according to transplanting time in spring cultivation, 2013-2014.

Transplanting time	Meteorological factors	X1	X2	X3	X4
Mar. 7	Sum of average temperatures(°C)	552	181	984	1,717
	Sum of sunshine hours	230	54	331	615
Mar. 14	Sum of average temperatures(°C)	573	196	1013	1,782
	Sum of sunshine hours	223	59	321	603
Mar. 21	Sum of average temperatures(°C)	602	224	1043	1,869
	Sum of sunshine hours	225	80	295	600
Mar. 28	Sum of average temperatures(°C)	636	209	1053	1,898
	Sum of sunshine hours	227	91	265	583

^z X1, Transplanting to stolon-occurrence; X2, Tuber-initiation; X3, Tuber-enlargement; X4, Transplanting to harvesting.

Table 20. Sum of average temperatures and hours of sunshine according to transplanting time in autumn cultivation, 2012-2013.

Transplanting time	Meteorological factors	X1	X2	X3	X4
Aug. 31	Sum of average temperatures(°C)	922	214	673	1,809
	Sum of sunshine hours	238	76	259	573
Sep. 7	Sum of average temperatures(°C)	879	191	631	1,701
	Sum of sunshine hours	245	80	234	559
Sep. 14	Sum of average temperatures(°C)	818	173	466	1456
	Sum of sunshine hours	257	69	214	540
Sep. 21	Sum of average temperatures(°C)	747	161	390	1,298
	Sum of sunshine hours	259	62	141	461

^z X1, Transplanting to stolon-occurrence; X2, Tuber-initiation; X3, Tuber-enlargement; X4, Transplanting to harvesting.

2) 경삼묘 정식 시기가 식물체 생장 및 괴경 형성에 미치는 영향

(1) 식물체 생장

펠라이트 재배상에서 22일 동안 육묘한 2차 경삼묘를 이용하여 봄 재배 시 3월 7일부터 3월 28일까지 일주일 단위로 정식시기를 달리하여 정식 후 20일부터 55일까지의 지상부 경장 변화는 Fig. 17과 같다. 경장은 정식 시기별로 41.6-55.5cm로 정식일이 늦을수록 길어지는 경향이였다. 이는 정식일이 늦을수록 온도가 높아 초기 활착이 빠르고, 영양생장기간 동안 약 40일간 적산 온도가 높았기 때문이라 판단되었다 (Table. 19). 봄 재배 시 정식 시기가 빠를수록 완만한 성장 곡선을 보였으며 정식이 늦은 3월 21일 정식 처리와, 3월 28일 정식 처리는 정식 30일-40일에 급격한 성장을 보였다. 괴경 형성 유도를 위해 pH를 4이하로 24시간 유지한 40일경 이후에 생식 생장기로 전환되어 대부분 정식 처리에서 완만한 성장을 보였으나 정식일이 가장 늦은 3월 28일 정식 처리에서는 계속하여 성장하였고 일부 식물체에서는 2차 생장을 관찰 할 수 있었다.

펠라이트 재배상에서 22일 동안 육묘한 2차 경삼묘를 이용하여 가을 재배 시 8월 31일부터 9월 21일까지 일주일 단위로 정식시기를 달리하여, 정식 후 20일부터 55일까지 지상부 경장 변화는 Fig. 18과 같다. 경장은 정식 시기별로 41.9-61.4cm로 봄 재배와 달리 정식일이 늦을수록 짧아지는 경향이었는데 이는 정식일이 늦을수록 온도가 낮아 영양생장기 까지 약 40일간 적산 온도가 낮았기 때문으로 판단되었다 (Table 20). 가을재배 시 정식 시기가 늦을수록 완만한 성장 곡선을 보였으며, 정식 40일 이후는 모든 처리에서 성장이 거의 정지되었다. 이는 가을철 괴경 형성기에 고온으로 괴경 착생이 어려워, 괴경 형성 유도를 위해 봄재배보다 5일 앞 당겨 35일경 괴경 형성처리를 하였고, 10월 중순이후 온도가 낮아졌기 때문으로 판단되었다.

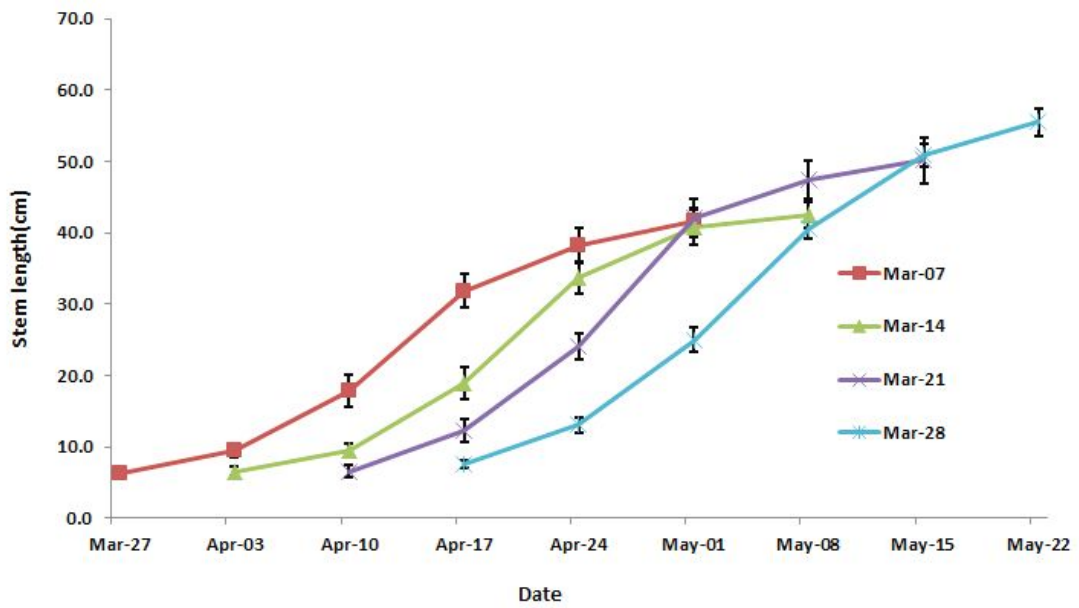


Fig. 17. Changes of stem length according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

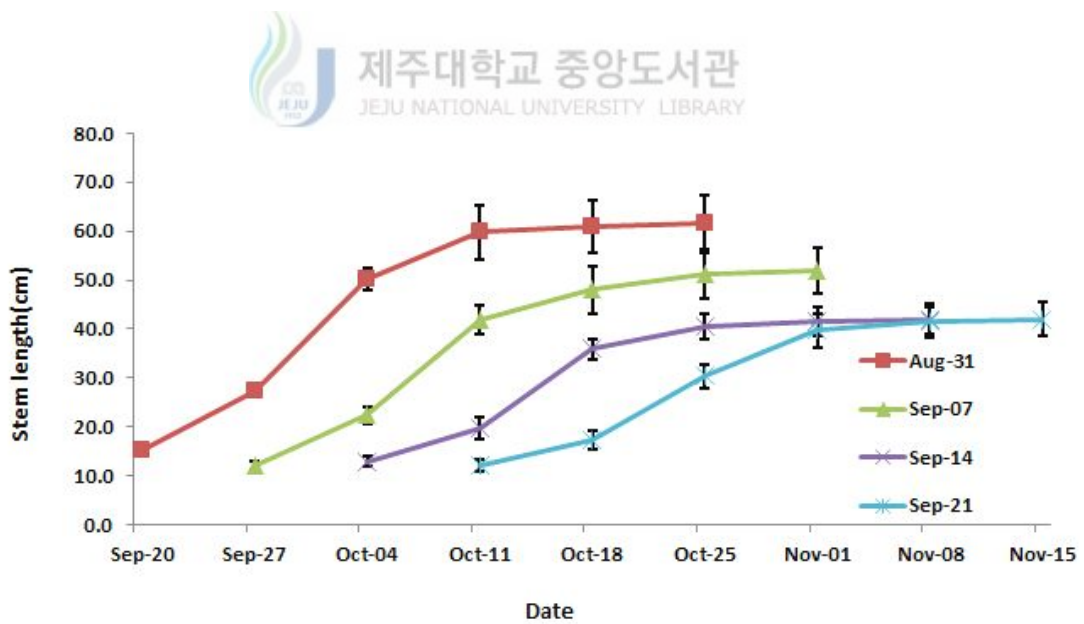


Fig. 18. Changes of stem length according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.

봄 재배 시 정식 시기별 지상부 생육 특성은 Table 21과 같다. 처리별로 경장은 41.6-55.5cm로 3월 28일 정식 시 55.5cm로 가장 길었으며, 정식하는 시기가 늦을수록 길어지는 경향이였다. 마디 수는 11.5-12.5개로 3월 7일 정식 처리에서 11.5개로 가장 적었고, 주당 생체중은 57.8-89.2g으로 3월 7일 정식처리에서 57.8g으로 가장 적었으며 3월 14일-3월 28일 정식 처리 간 유의성이 없었다.

Table 21. Shoot growth characteristics according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

Transplanting time	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Mar. 7	41.6c ^z	11.5b	6.5a	57.8b
Mar. 14	42.6c	12.5a	6.9a	76.7a
Mar. 21	50.1b	12.4a	7.1a	88.3a
Mar. 28	55.5a	12.5a	7.2a	89.2a

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

봄 재배 시 정식 시기별 지하부 생육 특성은 Table 22과 같다. 처리별로 복지장은 45.1-61.6cm로 정식하는 시기가 늦을수록 길어져 3월 28일 정식 처리에서 61.6cm로 가장 길었고, 지상부 경장과 비슷한 양상을 보였다. 주당 지하부 생체중은 16.9-27.9g으로 정식하는 시기가 늦어질수록 증가하는 경향이냐 3월 21일 정식 처리에서 27.9g로 가장 무거웠다. 1차 복지 수는 4.1-6.7개로 3월 21일 정식 처리에서 6.7개로 가장 많았고 3월 7일 정식 처리에서 4.1개로 가장 적었으며 정식 시기에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 2차 복지 수는 17.9-34.4개로 3월 28일 정식, 3월 21일 정식 처리에서 34.4개, 33.5개로 많았다. 지하부 생육은 대체로 정식 시기가 늦을수록 왕성한 경향을 보였다.

Table 22. Root growth characteristics according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

Transplanting time	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1 st -Stolons	No. of 2 nd -Stolons
Mar. 7	45.1d ^z	16.9d	4.1d	17.9b
Mar. 14	54.8c	22.3c	5.7b	20.1b
Mar. 21	59.3b	27.9a	6.7a	33.5a
Mar. 28	61.6a	24.4b	5.1c	34.4a

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

가을 재배 시 정식 시기별 지상부 생육 특성은 Table 23과 같다. 처리별로 경장은 42.0-61.4cm로 정식하는 시기가 늦을수록 감소하는 경향으로 봄 재배와 다른 양상을 보였다. 이는 정식하는 시기가 빠를수록 영양생장기의 온도가 높았고, 일장이 길었기 때문으로 판단되었다. 마디 수는 12.0-14.0개로 정식기가 빠를수록 많아지는 경향이었고, 줄기 굵기는 6.3-6.9mm, 주당 생체중은 67.7-84.9g으로 처리 간에 유의성은 인정되지 않았다.

Table 23. Shoot growth characteristics according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.

Transplanting time	Stem length (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
Aug. 31	61.4a ^z	13.7a	6.9a	84.9a
Sep. 7	51.9b	14.0a	5.9a	76.6a
Sep. 14	41.9c	12.3b	6.3a	68.2a
Sep. 21	42.0c	12.0b	6.3a	67.7a

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

가을재배 시 정식 시기별 지하부 생육 특성은 Table 24와 같다. 처리별로 복지장은 47.7-54.0cm로 9월 21일 정식 처리에서 47.7cm로 가장 짧았고 그 외 처리 간에 유의성을 보이지 않았다. 주당 지하부 생체중은 10.2-14.7g으로 처리 간 차이를 보이지 않았으며 봄 재배와 비교하여 지하부 생체중이 적은 것은 복지수가 봄 재배보다 적었기 때문으로 판단되었다. 1차 복지수는 3.2-4.8개로 9월 21일 정식처리에서 4.8개로 가장 많았으며, 2차 복지수는 11.3-17.8개로 9월 14일 정식 처리에서 17.8개로 가장 많았으며, 정식 시기에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 24. Root growth characteristics according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.

Transplanting time	Stolon length (cm)	Fresh weight (g/plant)	No. of 1-Stolons	No. of 2-Stolons
Aug. 31	54.0a ^z	14.7a	3.9c	14.4b
Sep. 7	52.0a	12.9a	3.2d	11.3c
Sep. 14	52.2a	13.2a	4.3b	17.8a
Sep. 21	47.7b	10.2a	4.8a	16.9ab

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

괴경이 착생하는 복지는 분무경 수경재배에서 정식 후 2주 후부터 형성되는데 봄 재배에서가 가을재배 보다 많았던 것으로 보아 복지 발생기의 온도가 너무 높으면 복지 발생이 억제됨을 알 수 있었다. 토양재배인 경우 복지의 발생과 신장이 출현 후 15-20일 후 이루어지고 괴경 형성 후 복지 형성이 어려우나 수경재배에서는 계속해서 복지가 발생하는 것을 관찰 할 수 있었고, 특히 가을재배에서 생육 후반기에 저온 단일 조건으로 접어들어 복지가 계속하여 발생되었다. 수경재배에서는 복지가 지하부 줄기 기부 가까운 곳에서부터 1차적으로 7-8개 발생하고 1차 복지에서 2-3개의 2차 복지가 형성되어 총 복지 수는 18-20개(Kang et al., 1995) 발생 하였고, 川上(1936)은

수경재배에서 17-23개 복지가 발생하였다는 보고와 본 시험 결과는 유사한 결과를 보였다.

일반적으로 높은 온도는 잎과 줄기의 생장을 좋게 하고 낮은 온도는 괴경의 발달에 유리하게 작용하여(Bennett et al., 1991) 봄 재배에서 정식기가 늦을수록, 가을재배에서 정식기가 빠를수록 지상부 생육이 왕성하였다고 판단되었다. 초장과 복지장은 장일보다 단일에서 짧아지고 특히 저온단일 조건에서 짧아지는 경향을 보인다(Cho, 1976). 본 시험에서 봄 재배 시 정식기가 늦을수록 고온 장일 조건으로 접어들고, 가을재배 시 정식 시기가 늦을수록 저온 단일 조건으로 접어들어 경장과 복지장은 봄 재배에서 정식 시기가 늦을수록 길어지고, 가을재배에서 정식 시기가 늦을수록 짧아진 것으로 판단되었다. 또한 Lee et al.(1985)은 ‘대지’ 품종을 이용하여 가을재배에 8월 25일부터 9월 5일 까지 5일 간격으로 남부 지방에 정식 시 정식기가 빠를수록 초장과 주당 경수가 많아 지상부 생육에 양호하다고 하였고, 지역별로 해남보다 무안지역이 지상부 생육이 양호한 것은 기온이 높아 비교적 늦게까지 생육이 유지되는 요인이라 하였는데, 가을재배에서 정식시기가 빠를수록 지상부 생육이 양호한 본 연구 결과와 유사하였다.



(2) 소과경 수량성

경삼묘를 이용한 분무경 수경재배에서 정식시기에 따른 년차 간 수량 변화에서 1년차(2013년) 봄 재배 시 주당 크기별 과경 수 및 수량특성은 Table 25와 같다. 정식 시기별 주당 총 과경 수는 16.89-27.27개로, 3월 21일, 3월 28일 정식 처리에서 27.21개, 27.27개로 많았으며, 정식 시기가 늦을수록 과경 수는 많아지는 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 과경 수는 10.83-17.57개로 총 과경 수와 같이 정식 시기가 늦을수록 많아지는 경향이였다.

1년차(2013년) 봄 재배 시 정식 시기별 평균 과경중은 6.1-8.5g으로 정식 시기가 빠를수록 무거운 경향을 보였다. 정식 시기별 주당 총 과경중은 134.1-184.3g으로, 3월 21일 정식 처리에서 184.3g으로 가장 많았으나, 3월 14일, 3월 28일 정식처리와 유의성은 인정되지 않았고, 3월 7일 정식처리에서 134.1g으로 수량이 가장 낮았다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 과경중은 127.0-170.3g으로 3월 21일 정식 처리에서 가장 많았으며, 3월 14일 정식, 3월 28일 정식 처리에서 각각 154.4g, 151.2g이었으며, 3월 7일 정식 처리에서 127.0g으로 가장 낮았다.

2년차(2014년) 봄 재배 시 주당 크기별 과경 수 및 과경 특성은 Table 26과 같다. 정식 시기별 주당 총 과경 수는 12.03-15.87개로, 3월 21일 정식 처리가 15.87개로 과경 수가 가장 많았고, 3월 14일 정식, 3월 28일 정식 처리와는 유의성이 인정되지 않았고, 3월 7일 정식 처리에서 12.03개로 가장 적었다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 과경 수는 정식 시기별로 9.20-11.81개로 3월 21일 정식 처리에서 11.81개로 가장 많았으며 그 외 처리에서는 처리 간 차이를 보이지 않았다.

2년차(2014년) 봄 재배 시 평균 과경중은 11.2-12.0g으로 1년차와 달리 처리 간 차이를 보이지 않았으며, 주당 총 과경중은 135.7-177.8g으로, 3월 21일 정식처리에서 177.8g으로 가장 많았으며, 3월 14일, 3월 28일 정식처리와 유의성은 인정되지 않았고, 3월 7일 정식 처리에서 135.7g 수량이 가장 낮았다. 정식기별 수량은 2013년과 비슷한 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 과경중은 정식 시기별로 132.9-172.3g으로 총 과경중과 같은 경향을 보였다.

Table 25. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013.

Transplanting time	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
Mar. 7	6.06b ^z	2.33b	3.11b	3.75a	1.36a	0.28a	0.00a	10.83c	16.89b	64	7.9ab	127.0b	134.1b	95	
Mar. 14	6.08b	2.56b	4.78ab	4.31a	1.28a	0.28a	0.00a	13.21b	19.29b	68	8.5a	154.4ab	164.0a	94	
Mar. 21	9.64a	4.47a	6.47a	5.33a	1.08a	0.14a	0.08a	17.57a	27.21a	65	6.8bc	170.3a	184.3a	92	
Mar. 28	11.11a	4.22a	6.06a	5.08a	0.72ab	0.08a	0.00a	16.16a	27.27a	59	6.1c	151.2ab	165.7a	91	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 26. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2014.

Transplanting time	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	A/B (%)			3g ≤ (C)	Total (D)	
Mar. 7	2.83a ^z	1.19b	1.83a	4.07a	1.61a	0.42b	0.08a	9.20b	12.03b	76	11.3a	132.9b	135.7b	98	
Mar. 14	3.75a	1.31b	2.25a	2.75a	1.81a	1.31a	0.17a	9.60b	13.35ab	72	12.0a	157.1ab	160.6ab	98	
Mar. 21	4.06a	1.89a	3.17a	3.83a	1.86a	0.89ab	0.17a	11.81a	15.87a	75	11.2a	172.3a	177.8a	97	
Mar. 28	3.92a	1.08b	2.33a	2.94a	1.97a	0.97ab	0.13a	9.42b	13.34ab	71	12.0a	156.8ab	160.6ab	98	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

2년간 평균(2013-2014) 주당 크기별 괴경 수 및 수량 특성은 Table 27과 같다. 정식 시기별로 주당 총 괴경 수는 14.44-21.51개로 3월 21일 정식 처리 21.51개, 3월 28일 정식 처리에서 20.28개로, 3월 7일 정식 처리 14.44개, 3월 14일 정식 처리 16.25개보다 많았다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 수는 정식 시기별로 10.00-14.66개로 3월 21일 정식 처리에서 14.66개로 가장 많았고, 3월 28일 정식, 3월 14일 정식, 3월 7일 정식 처리 순으로 많았다. 이는 정식 시기가 빠를수록 정식 초기 저온으로 활착이 지연되고 지상부 생육이 부진하였고, 괴경 형성기의 온도가 저온으로 괴경 형성에 부적합하였기 때문으로 사료된다.

온도가 괴경 형성에 관여함에 있어 봄 재배 시 복지 발생기(정식 후 15일 내외)부터 괴경 형성기(정식 후 40일 내외)까지 온도 변화는 Fig. 15와 같이 3월 7일 정식 처리에서 최고 온도는 26.5-28.3℃, 평균기온은 15.5-17.0℃, 최저온도는 8.4-9.3℃이었고, 3월 28일 정식 처리에서 최고온도는 30.2℃-30.5℃, 평균기온은 18.1-20.2℃, 최저온도는 10.0 - 12.1℃를 보였다. 괴경 형성은 15℃에서 1주일, 25℃에서 3주일 후에 시작되며 최적온도는 20℃라고 하였고(Borash, 1962), 괴경 형성은 29℃에 이루어지지 않는다고 하였다(Bushnell, 1925). 본 시험의 봄 재배 시 정식 시기가 늦을수록 평균 기온이 괴경이 형성하기에 좋은 조건에 놓여 괴경 수가 많아진 것으로 판단되었다.

감자는 일반적으로 저온 단일 조건에 놓이게 되면 괴경 착생이 촉진된다(Bodalender, 1963; Beukema, 1990). 수경재배에서 정식 후 15일 전후로 복지가 발생하기 시작하고, 1 개월이 경과하면 괴경 형성이 시작된다. 본 시험에서 3월 정식 시 괴경 형성기는 처리에 따라 4월 중순부터 4월 하순까지로 정식시기가 늦을수록 점점 일장은 길어져 괴경 형성에 불리한 조건이었다. 하지만 모든 정식 시기에서 괴경 형성기 조건은 단일 조건이었고, 처리별로 일조시간은 2-36시간 밖에 차이를 보이지 않았고, 정식 시기가 늦을수록 괴경수가 증가한 것으로 보아 일장보다는 온도가 괴경형성에 더 많이 관여한 것으로 사료되었다.

2년간 평균(2013-2014), 평균 괴경중은 처리별로 8.0-10.0g으로 정식 시기가 빠를수록 무거운 경향이였다. 이는 정식시기가 빠를수록 괴경 수가 적게 달려 괴경들 간 양분 경합이 덜하였고, 일찍 정식 할수록 Table. 19과 같이 일조량이 많고, 괴경비대기에 고온을 경과하지 않아 괴경 비대에 유리하게 작용하였기 때문으로 사료되었다. 정식 기별로 주당 총 괴경중은 134.9-181.0g으로, 3월 21일 정식 처리에서 가장 많았지만,

3월 14일 정식, 3월 28일 정식처리와 유의성을 보이지 않았고, 3월 7일 정식 처리에서 134.9g으로 수량이 가장 적었다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경중은 정식 시기별로 129.9-171.3g으로 총 괴경중과 비슷한 경향을 보였다.

크기별로 괴경 수 분포 비율은 Fig. 19와 같이 괴경 크기가 10g 이하가 대부분을 차지하여 정식기별 60.0-70.4% 분포를 보였고, 정식 시기가 늦을수록 높아지는 경향을 보였다.

감자의 괴경 비대는 지온이 22℃일 때 가장 증수되며, 29℃ 이상에서는 급격한 감소를 보인다(Epstein, 1966). ‘대지’ 품종에 있어 괴경 비대기의 적산온도와 수량성은 부의 상관관계를 보이고, 생육 후반기 고온장일 조건에서는 지상부 생육이 지속되고, 야간 고온으로 광합성 산물이 괴경 비대보다 호흡으로 소모하여 괴경의 비대가 늦어진다고 하였다(조, 2006). 본 시험에서도 생육 후기에 고온장일 조건에 놓이면서 지상부 생육이 일시 정지하였다가 경장이 2차 성장하는 것을 관찰할 수 있었고, 정식 시기가 늦을수록 괴경 수는 많이 달렸지만 괴경 비대기인 생육 후반기인 6월에 장일과 고온 조건에 놓이면서 충분히 비대가 되지 않아 유사한 결과를 보였다.

An 등(1996)은 조생종인 ‘남작’에 있어 출아부터 수확까지 기상요소 중 일조시수, 적산온도 등은 수량과 고도의 정의 상관관계를 보인다고 하였으며 기상요건을 단 요인으로 보면 온도보다 일사량, 일조시수 등 광 조건이 보다 중요한 요인으로 분석하였는데 본 시험은 정식기가 늦을수록 일조시수는 감소하였지만 수량은 증가되어 서로 다른 결과를 보였다. 이는 시험장소가 고령지 노지에서 수행하여 야간 온도가 본 시험과 달리 서늘하여 생육 후반기에 크게 작용하지 않았고 ‘남작’ 품종은 조생종으로 일찍 성숙되어 본 시험에 사용한 중만생종인 ‘대지’와 다르고, 품종에 따라 생육 및 수량은 광도 및 온도에 대한 반응의 차이(Burton, 1966)가 있기 때문으로 생각되었다.

이상 2년의 결과를 종합하여 보면 제주에서 봄재배 시 괴경 수와 괴경중을 고려할 때 3월 21일 정식 처리가 괴경 수와 괴경중이 가장 많았으며 3월 28일 정식 처리와, 3월 14일 정식 처리에서 괴경 수는 다소 감소하였지만 괴경중은 차이를 보이지 않아 3월 20일 전후로 정식하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

Table 27. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

Transplanting time	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
Mar. 7	4.44b ^z	1.76b	2.47c	3.92a	1.49a	0.35b	0.01a	10.00c	14.44b	69	9.3ab	129.9b	134.9b	96	
Mar. 14	4.92b	1.93b	3.51bc	3.53	1.54a	0.79a	0.03a	11.33bc	16.25b	70	10.0a	155.8ab	162.4a	96	
Mar. 21	6.85a	3.18a	4.82a	4.58a	1.47a	0.51a	0.10a	14.66a	21.51a	68	8.4bc	171.3a	181.0a	95	
Mar. 28	7.51a	2.65a	4.19ab	4.01a	1.35a	0.53a	0.04a	12.77b	20.28a	63	8.0c	153.8ab	163.0a	94	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

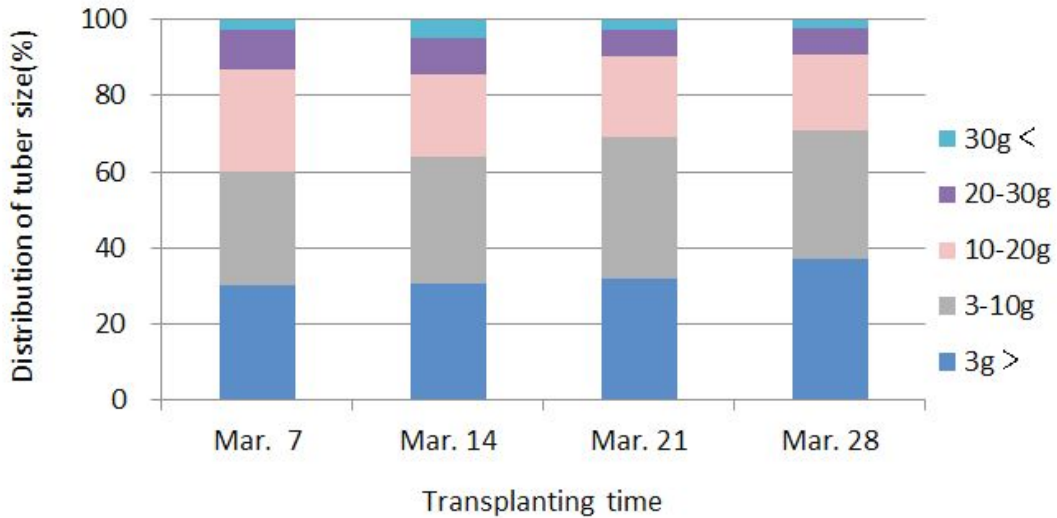


Fig. 19. Distribution of tuber size according to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

경삼묘를 이용한 분무경 수경재배에서 정식시기에 따른 년차 간 수량 변화에서 1년차(2012년) 가을 재배 시 정식 시기에 따른 주당 크기별 괴경 수 및 수량 특성은 Table 28과 같다. 주당 총 괴경 수는 정식 시기별로 7.66-16.75개로, 9월 21일 정식 처리에서 16.75개로 가장 많았고, 9월 14일 정식 처리 12.52개, 9월 7일 정식 처리 11.42개로 서로 비슷한 수량을 보였고, 8월 31일 정식 처리에서 7.66개로 가장 적은 수량을 보였다. 이는 일찍 정식 할수록 고온으로 인해 괴경 형성이 저해되었기 때문으로 사료되었다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 수는 정식 시기별로 4.52-6.33개로, 9월 14일 정식 6.33개, 9월 21일 정식 처리에서 6.31개로 많았고, 9월 7일 정식, 8월 31일 정식 처리에서 각각 4.73개, 4.52개로 적은 경향을 보였다.

1년차(2012년) 가을 재배 시 정식 시기별로 평균 괴경중은 7.7-14.4g으로 정식 시기가 빠를수록 무거웠다. 주당 총 괴경중은 97.0-110.3g으로, 정식 시기별로 큰 차이를 보이지 않았지만, 정식 시기가 늦어짐에 따라 수량은 감소하는 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 91.5-107.2g으로 총 괴경중과 유사한 경향으로 정식 시기가 늦을수록 수량이 떨어지는 경향이였다.

2년차(2013년) 가을 재배 시 정식 시기에 따른 주당 크기별 괴경 수와 수량특성은 Table 29과 같다. 정식 시기별로 주당 총 괴경 수는 8.91-14.74개로, 9월 14일 정식

14.74개, 9월 21일 정식 처리에서 14.31개로 다른 처리에 비해 많았다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 수는 5.35-8.03개로 총 괴경 수와 유사한 경향을 보였으며, 9월 21일 정식 처리에서 가장 많았다.

2년차(2013년) 가을재배 시 정식 시기별로 평균 괴경중은 6.8-12.4g으로, 정식시기가 빠를수록 무거운 경향이였다. 주당 총 괴경중은 100.9-114.1g으로 2012년 총 괴경중의 분포와 비슷한 수준으로 연차 간 변이는 크지 않았으며, 정식 시기에 따른 차이는 없었다. 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경중은 94.1-110.5g으로 9월 7일 정식 처리에서 수량이 110.5g으로 가장 많았다.

2년간(2012-2013) 평균 정식 시기에 따른 주당 크기별 괴경 수와, 수량 특성은 Table 30과 같다. 정식 시기별로 주당 총 괴경 수는 8.29-15.81개로 9월 21일 정식 처리에서 15.81개, 9월 14일 정식 처리에서 13.81개로 괴경 수가 많았고, 정식 시기가 늦을수록 많아지는 경향을 보였다. 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 수는 처리에 따라 4.94-7.41개로, 처리별 총 괴경 수와 비슷하게 정식시기가 늦을수록 괴경 수가 많은 경향이였다. 이는 감자는 일반적으로 저온 단일 조건에 놓이게 되면 괴경 착생이 촉진되는데(Bodalender, 1963; Beukema, 1990), 8월 31일-9월 21일까지 정식 시, 정식시기가 늦을수록 괴경 형성기 기상이 저온 단일조건으로 바뀌면서 괴경 형성에 도움을 주었기 때문으로 사료되었다.

2년간(2012-2013) 평균, 평균 괴경중은 6.3-13.3g으로 정식 시기가 빠를수록 무거웠다. 이는 총 괴경 수가 상대적으로 적어 괴경 간 양분 경합이 덜 하였고, 정식 시기가 빠를수록 괴경 비대기 온도와 일조, 일사량이 풍부하였기 때문으로 사료된다. 처리별 총 괴경중은 99.0-110.4g, 주당 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 92.8-107.0g으로 정식 시기별로 수량에 차이가 없었다.

처리에 따른 크기별 괴경 수 분포 비율은 Fig. 20과 같이 3g 미만 분포 비율이 처리별로 40.4-53.1% 수준으로 정식일이 늦을수록 높아지는 경향이었는데, 봄 재배 30.3-37.0%에 비하여 다소 높게 나타났다. 이는 정식 후부터 괴경 형성기까지 최고 온도가 25℃ 이상 고온으로 괴경 형성이 지연되었고, 괴경 비대기인 11월 중순 이후 낮은 온도와 일조시간 부족으로 괴경 비대가 충분히 이루어지지 않았기 때문으로 사료되었다.

Table 28. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012.

Transplanting time	Number of tubers per plant										Average tuber weight (g)		Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g	3-5	5-10	10-20	20-30	30-50	50g	3g≤	Total	A/B (%)	weight (g)	3g≤	Total	(%)	
	>	g	g	g	g	g	<	(A)	(B)		(C)	(D)			
Aug. 31	3.14 ^c	0.58b	0.72a	0.67c	1.08a	1.28a	0.19a	4.52b	7.66c	59	14.4a	107.2a	110.3a	97	
Sep. 7	6.69b	0.83b	1.00a	1.06b	0.75a	0.78a	0.31a	4.73b	11.42b	41	8.8b	93.4a	100.1a	93	
Sep. 14	6.19b	1.33a	1.42a	2.14a	0.86a	0.47a	0.11ab	6.33a	12.52b	51	7.7bc	91.5a	97.0a	94	
Sep. 21	10.44a	0.92ab	1.42a	2.19a	1.28a	0.50a	0.00b	6.31a	16.75a	38	5.9c	94.9a	99.3a	95	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 29. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2013.

Transplanting time	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)	3g ≤ (C)			Total (D)		
Aug. 31	3.56b ^z	0.58b	0.83b	1.42b	1.44a	0.94b	0.14a	5.35b	8.91b	60	12.4a	106.9a	110.7a	97	
Sep. 7	3.78b	0.61b	0.86b	1.19b	1.56a	1.19a	0.03a	5.44b	9.22b	59	12.4a	110.5a	114.1a	97	
Sep. 14	6.83a	1.78a	2.22a	2.72a	0.86a	0.33c	0.00a	7.91a	14.74a	54	6.8b	94.1b	100.9a	93	
Sep. 21	6.28a	1.69a	2.42a	2.72a	1.06a	0.14c	0.00a	8.03a	14.31a	56	7.1b	94.7b	100.9a	94	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

생육 초기의 저온은 괴경 형성에 효과적이고(Bodlaender, 1960; Krug, 1965), 29℃에서 괴경 형성이 되지 않고(Bushnell, 1925), 괴경형성은 15℃에서 1주일, 25℃에서 3주일 후에 시작되며 최적온도는 20℃라 하였다(Borash, 1962). 본 시험 가을재배 시 복지 발생기(정식 후 15일 내외)부터 괴경 형성기(정식 후 40일 내외)까지 온도 변화는 Fig. 16과 같이 8월 31일 정식 처리에서 최고 온도는 29.2-31.5℃, 평균 기온은 22.8-24.2℃, 최저 온도는 16.5-17.6℃로 괴경 형성에 불리한 조건이었으며, 9월 21일 정식 시 최고 온도는 24.4℃-26.2℃, 평균 기온은 16.4-19.3℃, 최저 온도는 12.5-14.4℃로 비교적 8월 31일 정식 시 온도보다 낮아 괴경 형성에 유리한 조건으로 작용하였다.

감자의 괴경 형성에 관여하는 일장과 온도에 관한 연구(조, 1976; Wheeler et al., 1987)에서 단일(8h)조건에서 낮은 밤 온도는 괴경 형성을 촉진하나, 장일(16h)조건에서 야간 온도가 20℃이상에서 괴경 형성에 불리하다고 하였으며, 또한 Chung과 Chang은(1990) 괴경 형성은 장일 변온구와 단일 변온구에서 높았으나 장일 고온구는 조합에 관계없이 괴경이 형성되지 않았고 하였다. 본 시험에서 가을재배에서 괴경 형성기의 10월 일장은 단일조건이었으나, 괴경 수가 처리 간 차이가 있는 것으로 보아 일장보다는 온도에 더 민감하게 반응한 것으로 추정되었다.

감자 괴경 비대는 12시간 정도의 일장이 괴경 비대에 좋으며(Wheeler et al., 1986), 일사량이 많을수록 괴경 비대가 촉진되어 수량이 증가된다고 하였고(Haverkort, 1986), 감자 가을재배에서 괴경 비대기 기온이 20℃ 내외이고, 밤과 낮 기온 차이가 크면 수량 확보가 용이하다(조, 1963; 강, 1965; 남, 1969). 또한 Cho(2006)는 8월 중순에 정식한 가을재배에서 생육기간동안 저온단일 조건이 되고 시간이 지남에 따라 일교차가 커지기 때문에 광합성 동화 산물이 지상부 생육보다는 지하부 괴경으로 축적되어 괴경 비대에 유리하다고 보고하였다. 일단 괴경이 형성된 후의 비대에 있어 일조가 감소하면 위에서 만들어진 광합성 산물이 감소할 뿐만 아니라 광합성 산물은 주로 지상부 생육에 소비되어 괴경 비대는 현저히 감소한다. 본 시험은 미니씨감자를 비닐하우스에 정식하여 수행한 것으로 현실적으로 8월 하우스 내 고온은 유식물체가 정상적으로 생육하기에는 아주 불리한 조건으로 9월에 정식을 하였다. 9월 정식 시 괴경이 비대 되는 시기인 정식 후 45일 경은 10월 중순 이후로 괴경 비대 후기로 갈수록 기온이 낮아지고 일사량이 부족할 뿐만 아니라 일조시간도 감소하여 괴경 비대에 불리한 조건이었고, 9월 정식시 정식시기가 늦어질수록 충분한

괴경 비대를 못하여 괴경중이 감소하는 것으로 판단되었다.

가을재배 시 농업적으로 유효한 3g 이상 괴경은 주로 1차 복지 선단부, 일찍 발생한 2차복지의 선단부, 1차 복지 마디에 착생 된 괴경이다. 본 시험에서 가을 재배 시 봄 재배와 달리 생육 후반기에(11월 이후) 접어들어 저온 단일 조건에 놓이게 되면 지하줄기 상부에서 1차 복지가 새롭게 발생하고, 이미 발생한 1차 복지에서 새롭게 2차 복지가 발생하여 선단부나, 1차 복지 마디에 괴경이 새롭게 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만, 괴경 비대기간이 짧고 괴경 간에 경합으로 대부분 0.5g 이하의 작은 소괴경 들로 괴경을 충실히 하는 자연 녹화과정에서 소실되어 농업적으로 전혀 이용 할 수 없는 소괴경이었다(Fig. 21). 따라서 가을 재배 시 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경 확보를 위하여, 정식부터 괴경형성기까지 양액 온도를 20℃ 이하로 냉각시키고, 양액 공급 시간을 짧게 여러 번 분사하여 근권 온도를 저온으로 유지하여 괴경을 조기에 착생 시켜 괴경 비대 기간을 충분히 확보하는 방안에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각되었다.

이상 2년의 결과를 종합하여 보면 가을재배에 있어 정식 시기별로 괴경 수는 9월 14일 정식 처리와 9월 21일 정식 처리에서 8월 31일 정식이 처리와 9월 7일 정식이 처리보다 많았으며 괴경중에 있어 정식 시기별로 별 차이를 보이지 않아 괴경 수와 괴경중을 고려할 때 9월 20일 전후로 정식하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

Table 30. Number of tubers and yield per plant according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012–2013.

Transplanting time	Number of tubers per plant										A/B (%)	Average tuber weight (g)	Yield (g/plant)		C/D (%)
	3g >	3g	3-5 g	5-10 g	10-20 g	20-30 g	30-50 g	50g <	3g ≤ (A)	Total (B)			3g ≤ (C)	Total (D)	
Aug. 31	3.35c ^z	0.58b	0.78b	1.04b	1.26a	1.11a	0.17a	0.17a	4.94b	8.29b	59	13.3a	107.0a	110.4a	97
Sep. 7	5.24b	0.72b	0.93b	1.13b	1.15a	0.99a	0.17a	0.17a	5.09b	10.33b	49	10.4b	102.0a	107.2a	95
Sep. 14	6.66b	1.52a	1.88a	2.39a	0.86a	0.43b	0.07ab	0.07ab	7.15a	13.81a	52	7.2c	92.8a	99.0a	94
Sep. 21	8.40a	1.34a	1.93a	2.50a	1.31a	0.33b	0.00b	0.00b	7.41a	15.81a	47	6.3c	94.9a	100.2a	95

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

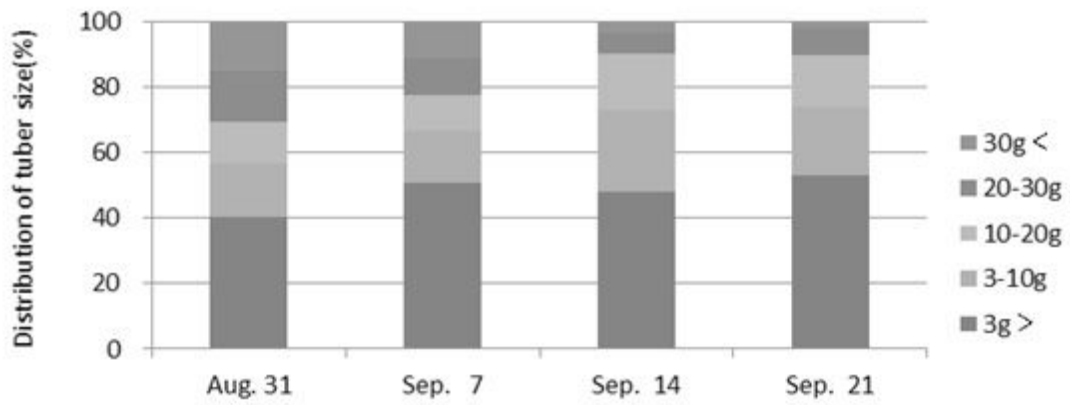


Fig. 20. Distribution of tuber size according to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.



At greening treatment

After greening treatment

Fig. 21. Mini-tuber at greening treatment and after greening treatment.

(3) 농업 형질간의 상관과 회귀

감자 분무경 수경재배에서 봄 재배 시 농업 형질들 간의 상관관계는 Table 31과 같다. 지상부 생육 형질들 간, 지하부 생육 형질들 간, 지상부와 지하부 생육 형질, 수량 형질들 간에 있어서 경장과 1차 복지수를 제외하고 농업 형질들 간에 유의한 정의 상관관계를 보였다. Kim(2003)은 심지 양액재배에서 봄 재배 시 지상부 형질(엽장, 엽폭, 주당 줄기수, 줄기 굵기)과 수량 형질 간에 고도의 정의 상관을 보였다고 보고하였는데 본 시험과 일치하는 경향이였다. 본 시험 결과 봄 재배 시 지상부 생육을 양호하게 한다면 지하부 생육은 물론 수량 증수에도 효과적이라 판단되었다. 따라서 2월 말이나 3월 초에 일찍 정식할 경우 정식 초기에는 저온 등으로 생존율이 떨어지고, 활착이 늦어지며, 지상부 생육이 부진하므로 3월 중순 이후 기온이 어느 정도 올랐을 때 정식하는 것이 좋다고 판단되었다. 부득이하게 일찍 정식을 하고자 할 때는 정식하기 전에 순화실 온도를 서서히 낮춰 외부 온도에 근접하게 몇 일간 경삼묘를 순화 시키거나, 경삼기간을 늘려 묘가 충실히 자란 묘를 정식하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

감자 분무경 수경재배에서 가을 재배 시 농업 형질들 간 상관관계는 Table 32와 같다. 봄 재배와 달리 형질 간 상관관계가 대체로 낮았다. 경장은 줄기 굵기를 제외하고 모든 형질과 유의한 상관을 보였는데, 괴경 수와는 부의 상관을 보였으며, 괴경중과는 매우 높은 정의 상관을 보였다. 실질적으로 괴경이 달리는 1차 복지수와 2차 복지수는 괴경 수와는 유의한 정의 상관을 보였지만 괴경중과는 상관이 없었다. 가을 재배 시 지상부 형질은 대체로 지하부 수량특성 중 괴경 수와는 부의 상관을 보였고, 괴경중과는 정의 상관을 보였다.

Table 31. Correlation coefficients among the agronomic traits in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

Agronomic traits	Stem diameter	No. of nodes	Top fresh weight	Stolon length	Root fresh weight	No. of 1 st -stolons	No. of 2 nd -stolons	No. of total tubers	Weight of total tubers (> 3g)
Stem length	0.66**	0.59*	0.82**	0.86**	0.72**	0.37	0.94**	0.86**	0.71**
Stem diameter		0.68**	0.84**	0.75**	0.74**	0.57*	0.71**	0.72**	0.65**
No. of nodes			0.87**	0.84**	0.76**	0.70**	0.60**	0.37**	0.65**
Top fresh weight				0.92**	0.89**	0.71**	0.85**	0.89**	0.79**
Stolon length					0.89**	0.67**	0.87**	0.87**	0.78**
Root weight						0.88**	0.86**	0.92**	0.93**
No. of 1 st -stolons							0.55*	0.73**	0.84**
No. of 2 nd -stolons								0.95**	0.87**
No. of total tubers									0.96**
No. of total tubers(> 3g)									0.80**
Weight of total tubers									0.84**
									0.75**
									0.81**
									0.99**

*, ** : Significant at the 5% and 1%, respectively.

Table 32. Correlation coefficients among the agronomic traits in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.

Agronomic traits	Stem diameter	No. of nodes	Top fresh weight	Stolon length	Root fresh weight	No. of 1 st -stolons	No. of 2 nd -stolons	No. of total tubers	Weight of total tubers (> 3g)
Stem length	0.29	0.84**	0.82**	0.66*	0.69*	-0.54	-0.59*	-0.85**	-0.81*
Stem diameter		-0.06	0.18	0.16	0.28	0.24	0.10	-0.21	-0.13
No. of nodes			0.62*	0.60*	0.54*	-0.87**	-0.80**	-0.87**	-0.93**
Top fresh weight				0.68*	0.70*	-0.37	-0.48	-0.52	-0.47
Stolon length					0.68*	-0.49	-0.36	-0.6*	-0.55
Root weight						-0.45	-0.26	-0.55	-0.46
No. of 1 st -stolons							0.85**	0.68*	0.78*
No. of 2 nd -stolons								0.59*	0.73**
No. of total tubers									0.95**
No. of total tubers (> 3g)									
Weight of total tubers									

*, ** : Significant at the 5% and 1%, respectively.

분무경 수경재배에서 경삼묘를 정식하여 봄 재배 시 최적 정식일 산출을 위한 회귀식은 Table 33와 같다. 봄 재배 시 농업형질들 간 적정 정식기는 Fig. 22와 같이 3월 21일-3월 28일로 나타났다. 씨감자로 사용이 적합한 3g 이상 괴경 수가 많은 정식 시기는 3월 22일 경이었고, 3g 이상 괴경중이 많은 정식 시기는 3월 21일 경이었다. 따라서 봄 재배 시 2월 말이나 3월 초 정식 시 저온 방지를 위해 유류비가 많이 들고 저온으로 인한 활착율 저하로 고사주가 생겨 재차 정식 시 노동력, 경삼묘비 등 경영비 증가됨을 고려 할 때 3월 20일 경에 정식을 하는 것이 바람직하다고 판단이 되었다.

Table 33. Significant regression equations with coefficients of transplanting time and agronomic traits in spring aeroponics cultivation.

Variables	Regression equations	R ²
Stem length(cm)	$Y^{**}=40.333+0.273X+0.197X^2$	0.92
Stem diameter(mm)	$Y^{**}=6.422+0.080X-0.002X^2$	0.48
No. of nodes	$Y^{**}=11.465+0.140X-0.004X^2$	0.69
Top fresh weight(g)	$Y^{**}=54.09+3.632X-0.092X^2$	0.80
Stolon length(cm)	$Y^{**}=43.721+1.638X-0.038X^2$	0.88
Root weight(g)	$Y^{**}=14.996+1.448X-0.045X^2$	0.88
No. of 1 st -stolons	$Y^{**}=3.621+0.427X-0.016X^2$	0.87
No. of 2 nd -stolons	$Y^{**}=15.673+1.045X-0.006X^2$	0.80
No. of total tubers	$Y^{**}=13.262+0.689X-0.016X^2$	0.74
No. of total tubers(> 3g)	$Y^{**}=9.137+0.545X-0.017X^2$	0.64
Weight of total tubers	$Y^{**}=126.930+6.810X-0.232X^2$	0.65
Weight of total tubers(> 3g)	$Y^{**}=122.736+6.320X-0.220X^2$	0.61

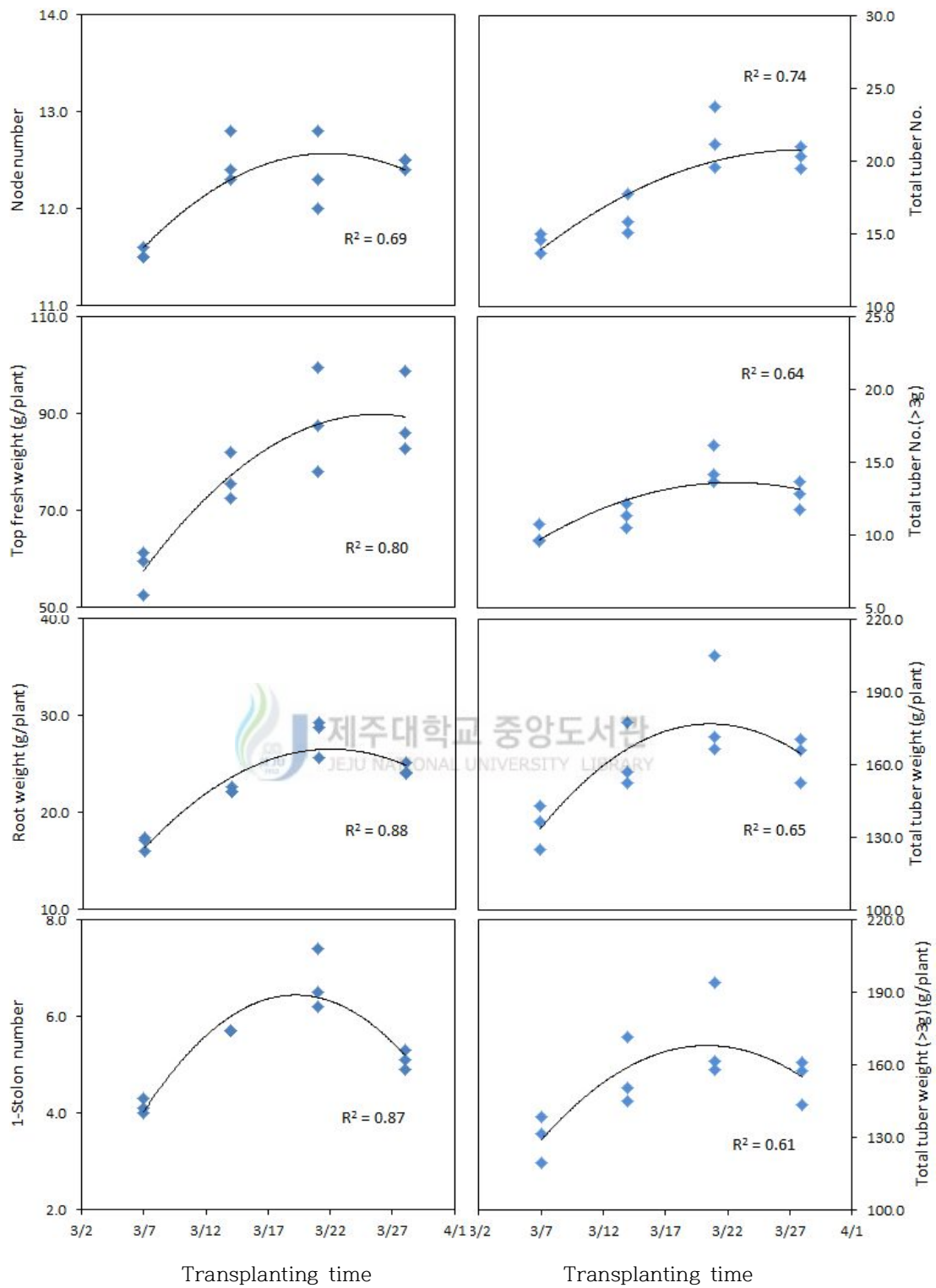


Fig. 22. Changes of agronomic traits in relation to transplanting time in spring aeroponics cultivation, 2013-2014.

분무경 수경재배에서 경삼묘를 정식하여 가을 재배 시 적정 정식일 산출을 위한 회귀식은 Table 34와 같다. Fig. 23과 같이 피경중은 회귀식상에서 유의성이 인정되지 않았으며 피경수는 정식 시기가 늦을수록 직선적으로 증가하는 경향을 보였다.

본 시험에 이용된 '대지' 품종은 정식부터 수확까지 90일 정도가 소요 되는데 수확기를 고려할 때 9월 말을 넘겨서는 감자가 생육하기에 부적당한 조건이 될 것이다. 따라서 통계적으로는 정식일이 늦을수록 피경 수 증가 경향을 보였지만 앞선 시험 결과를 토대로 9월 20일 전후로 정식하는 것이 바람직하다고 판단이 되었다.

Table 34. Significant regression equations with coefficients of transplanting time and agronomic traits in autumn aeroponics cultivation.

Variables	Regression equations	R ²
Stem length(cm)	$Y^{**} = -64.041 - 2.117X + 0.050X^2$	0.97
No. of nodes	$Y^{**} = 13.926 - 0.031X - 0.003X^2$	0.80
Stolon length(cm)	$Y^* = 53.598 + 0.030X - 0.013X^2$	0.61
Root weight(g)	$Y^* = 14.965 - 0.192X$	0.44
No. of 1 st -stolons	$Y^{**} = 3.906 - 0.096X + 0.006X^2$	0.76
No. of total tubers	$Y^{**} = 7.792 + 0.371X$	0.89
No. of total tubers(> 3g)	$Y^{**} = 4.570 + 0.137X$	0.81

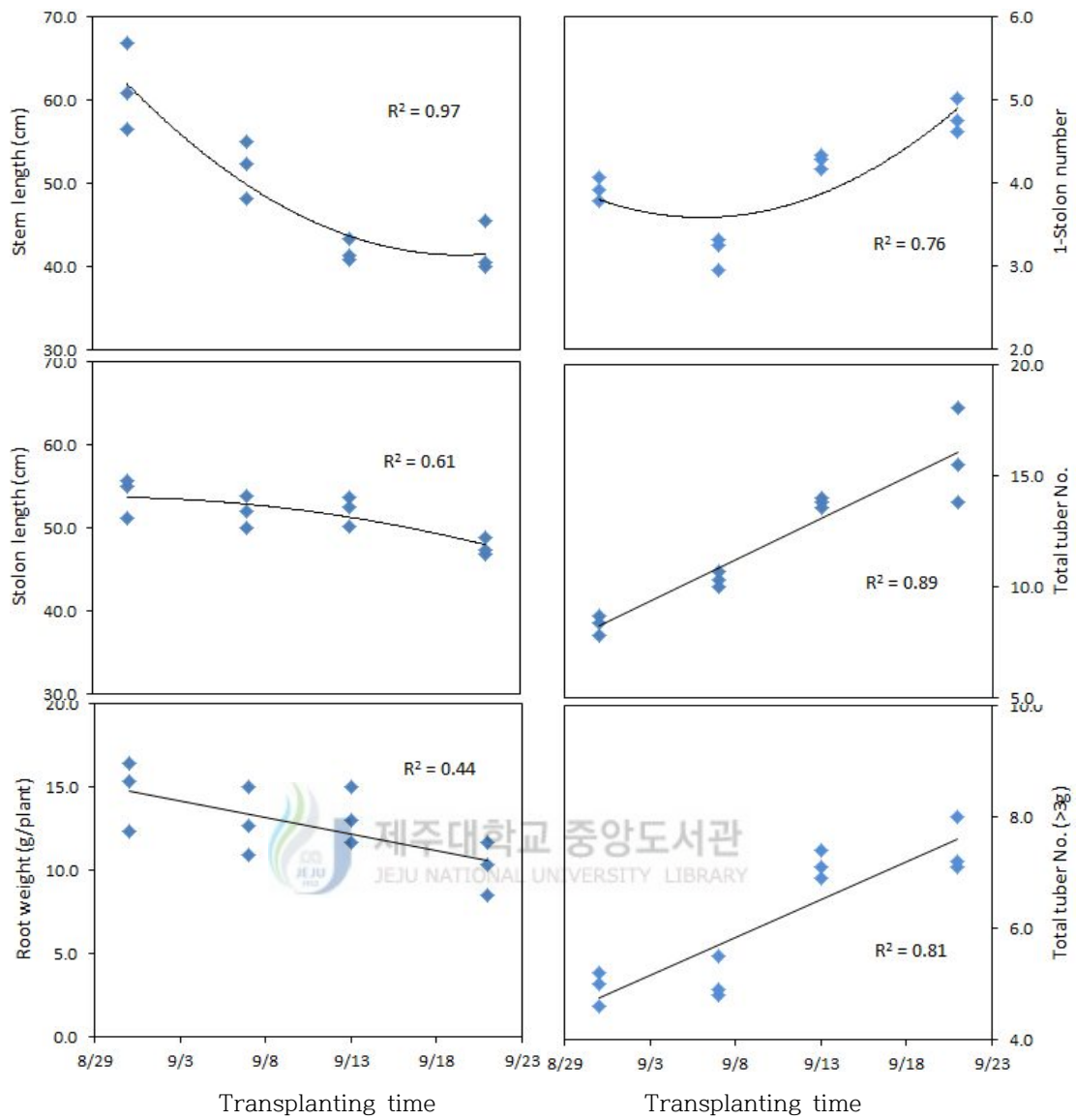


Fig. 23. Changes of agronomic traits in relation to transplanting time in autumn aeroponics cultivation, 2012-2013.

3) 기상 요인과 소괴경 형성과의 관계

생육시기별로 기상 조건이 소괴경 수량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수경 재배에서 관여하는 기상 요인 중 온도와 일조시간과 수량과의 상관 관계를 분석하였다 (Table 35, 36).

봄 재배 시 괴경 수와 정식부터 복지 발생기까지(X1: 0-35일)의 적산온도, 괴경 형성기(X2 : 36-45일)의 적산온도와 괴경 형성기의 총 일조시간과는 고도의 유의한 정의 상관을 보였다. 따라서 봄 재배에 정식을 할 때 정식 초기의 저온은 괴경 수 확보에 불리하게 작용하므로 정식시기를 3월 중순 이후로 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

봄 재배시 평균 괴경중과 괴경 비대기(X3 : 46-90일)의 적산온도는 부의 상관을 보였으나 일조시간과는 정의 상관을 보였다. 이러한 결과로 보아 봄 재배 시 정식일이 빠를수록 괴경 비대기에 일조 시간이 많아 괴경 비대에 유리하게 작용하나, 정식일이 늦어지면 괴경 비대기간에 온도가 고온으로 되면서 지상부에서 2차 생장을 하고, 광합성 동화산물이 호흡으로 인한 소모(Cho et al., 2006)로 괴경 비대가 충분히 되지 않은 것으로 해석되었다.

Table 35. Effect of meteorological factors on yield traits at different growth stages in spring cultivation, 2013-2014.

Yield traits	Meteorological factors	X1 ^z	X2	X3
No. of total tubers(> 3g)	Sum of average temperatures	0.79**	0.90**	-
	Sum of sunshine hours	-0.35	0.84**	-
Average tuber weight	Sum of average temperatures	-	-	-0.57*
	Sum of sunshine hours	-	-	0.65*

^z X1, Transplanting to stolon-occurrence; X2, Tuber-initiation; X3, Tuber-enlargement.

*, ** : Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

가을 재배에서 괴경 수 와 정식부터 복지 발생기까지(X1: 0-35일)와, 괴경 형성기 (X2 : 36-45일)의 적산온도와 고도의 유의한 부의 상관을 보였고, 총 일조시간과도 같은 경향을 보였다. 따라서 가을 재배에 정식을 할 때 정식 초기의 고온은 괴경수 확보에 불리하게 작용하므로 정식시기를 9월 중순 이후로 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

가을재배에서 평균 괴경증과 괴경 비대기(X3 : 46-90일)의 적산온도와 총 일조시간과는 고도의 정의 상관을 보였다. 감자 괴경 비대는 14-16℃가 적온인데(Ingram and Mccloud, 1984), 가을재배 괴경 비대 후반기는 저온으로 괴경 비대에 불리한 조건에 접어들어 일찍 정식할수록 괴경 비대에는 유리한 조건으로 작용하였다.

Table 36. Effect of meteorological factors on yield traits at different growth stages in autumn cultivation, 2012-2013.

Yield traits	Meteorological factors	X1 ^z	X2	X3
No. of total tubers(> 3g)	Sum of average temperatures	-0.94**	-0.83**	-
	Sum of sunshine hours	-0.94**	-0.93**	-
Average tuber weight	Sum of average temperatures	-	-	0.94**
	Sum of sunshine hours	-	-	0.92**

^z X1, Transplanting to stolon-occurrence; X2, Tuber-initiation; X3, Tuber-enlargement.

*, ** : Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

이상의 결과에서 온도는 괴경 형성에 있어서 봄 재배 시 온도가 높을수록 유리하였고, 가을 재배 시 온도가 낮을수록 유리하여 작형별로 정반대로 작용하고 있다. 감자 생육에 적합한 대기 온도 관리는 현실적으로 어려워 양액 온도를 봄재배 시 가열하거나, 가을재배 시 냉각하는 방법으로 근권 온도를 조절하여 최대 수량을 확보 할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다고 생각되었다.

V. 종합고찰

제주에서 씨감자 공급은 분무경 수경재배에서 무병 우량 소피경 씨감자를 연 200만개 대량 생산하여 농가에 직접 공급하여 필요한 씨감자를 충당하고 있다. 이러한 대량생산 체계에서 소피경 씨감자의 안정 생산 체계를 확립하고자 분무경 수경재배에서 정식용 묘 종류와, 정식기별로 식물체 성장과 소피경 형성에 미치는 영향을 검토하였다. 효율적인 경삽묘 생산 방법을 구명하기 위하여 조직배양 순화묘, 조직배양 순화묘로부터 증식한 1차, 2차, 3차, 4차 경삽묘와 경삽묘를 절단하여 곧바로 정식하는 무발근묘, 경삽 후 육묘기간을 15일부터 35일까지 10일 간격으로 육묘한 15일, 25일, 35일 경삽묘를 이용하여 2013년 봄재배는 3월 14일, 가을 재배는 9월 10일 정식을 하여 수행하였다. 정식 시기별로 식물체 성장과 소피경 형성에 미치는 영향에 관한 시험은 봄재배(2013-2014)는 3월 7일부터 3월 28일까지 1주일 간격으로, 가을재배(2012-2013)는 8월 31일부터 9월 21일까지 1주일 간격으로 2차 경삽묘를 정식하여 2년간 수행하였다.

조직배양 순화묘를 경삽하는 차수에 따라 봄재배 시 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경(Kim et al., 1998; Kim et al., 2002) 수는 처리별로 13.00-16.96개로 조직배양 순화묘 16.96개, 1차 경삽묘 14.53개로 많았으며, 4차 경삽묘가 13.00개로 가장 적었고, 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경중은 처리별로 135.9-162.7g으로 3차 경삽묘가 162.7g 가장 많았고, 4차 경삽묘 135.9g으로 가장 적었다. 가을재배 시 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경 수는 5.00-9.44개로 조직배양 순화묘에서 9.44개로 가장 많이 생산되었고 경삽하는 차수가 많아짐에 적어지는 경향이었고, 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경중은 1차 경삽묘-3차 경삽묘는 92.7-95.6g으로 처리 간 차이가 없었으며, 조직배양 순화묘에서 82.0g, 4차 경삽묘 88.4g으로 다소 적은 경향을 보였다.

조직배양 순화묘가 경삽묘에 비하여 괴경 수가 많았던 결과는 Kim et al.(1997)의

연구 결과와 일치하였는데, 이는 조직배양 순화묘는 생장점을 채취하여 얻어진 최초의 유식물체로 묘 활력이 우수하여 주당 괴경 수가 많았고, 반면 경삼묘는 경삼 횡수와 시간이 경과됨에 따라 묘 활력이 감소한 것으로 생각되었다. 하지만 Kim et al.(1996)의 연구결과와 상이한 결과를 보였는데, 이는 정식 시 묘소질이 조직배양 순화묘보다 1차 경삼묘가 우수했고 재배 시기가 달랐기 때문에 나타난 결과로 해석되며, 재배 환경이나 육묘 방법에 따라 생산성에 차이가 있음을 알 수 있었다.

봄에 생산한 소괴경 씨감자는 가을재배 채종용 종서로 이용된다. 가을재배는 보통 8월 말-9월 초에 파종을 하는데, 이 시기는 고온과 집중 강우로 종서를 절단하면 부패되기 쉽기 때문에 보통 통감자로 파종 하는 점을 고려할 때 봄 재배 소괴경 씨감자 생산에 괴경 수는 중요한 요인이라 할 수 있다. 본 시험에서 조직배양 순화묘가 총 괴경수가 가장 많았지만, 정식묘로 사용하기에는 막대한 시설비용이 들고 별도의 전문 인력이 필요하여 현실적으로 대량 생산이 어렵다. 따라서 손쉽게 묘를 증식할 수 있는 경삼묘를 이용하는 것이 효율적이고, 조직배양 순화묘와 3g 이상 괴경 수와 큰 차이가 나지 않은 1차 경삼묘- 3차 경삼묘까지 봄 재배 시 정식용 묘로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

가을에 생산한 소괴경 씨감자는 봄재배 채종용 종서로 이용된다. 봄재배는 보통 2월 하순-3월 상순에 파종을 하는데 기온이 높지 않아 씨감자를 절단하여 파종하여도 발아 시까지 부패 우려가 없다. 따라서 가을 재배 소괴경 씨감자 생산에 괴경수와 더불어 괴경중도 고려해야 할 사항이다. 본 시험 결과 가을재배에서 수경재배 소괴경 씨감자를 생산할 때 3g 이상 괴경 수는 조직배양 순화묘보다 적었지만, 3g 이상 괴경중은 조직배양 순화묘와 4차 경삼묘보다 많아 봄재배와 마찬가지로 1차 경삼묘부터 3차 경삼묘까지 가을재배 시 경삼용 묘로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

경삼 후 육묘 기간에 따라 봄 재배 시 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경 수는 처리별로 8.93-14.09개로 25일 경삼묘 14.09개, 35일 경삼묘 12.54개로 많았으며, 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 처리별로 115.6-162.5g으로 3g 이상 괴경 수 와 마찬가지로 25일 경삼묘 162.5g, 35일 경삼묘 154.8g으로 많았다. 가을 재배 시 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경수는 처리별로 5.17-6.80개로 25일 경삼묘 6.80개, 35일 경삼묘 6.45개로 많았고, 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 처리별로

77.3-84.6g으로 무발근묘에서 77.3g으로 가장 적었고, 경삼 후 육묘 기간이 길어질수록 많아지는 경향을 보였으나 15일 경삼묘 - 35일 경삼묘 처리 간 유의성은 인정되지 않았다. 무발근묘와 15일 경삼묘에서 수량이 다소 저조한 것은 무발근묘는 정식시 뿌리가 없고, 15일 경삼묘는 경삼 후 육묘 기간이 짧아 묘 소질이 연약하여 초기에 활착이 늦었기 때문으로 판단되며, 봄재배 시는 정식 초기 저온으로 활착하는데 가을재배 시보다 더 민감하게 작용하였다.

Kang et al.(2006)은 육묘 방법에 따른 분무경 수경재배 감자 생육 및 수량에 미치는 영향에 있어 수량 특성을 조사한 결과 18일 경삼묘가 무발근묘 보다 괴경 수가 많았다고 보고하였는데 본 시험과 유사한 결과를 보였다. 또한 Chae et al.(2008)은 봄재배 시 20일 경삼묘-40일 경삼묘에서 주당 괴경 수는 별 차이가 없었다고 하여 본 연구 결과와 유사하였고, 50일 경삼묘에서는 타 처리보다 25%정도 괴경 수가 감소하였는데, 이는 경삼 후 육묘 기간이 길어짐에 따라 묘가 노화되어 삽목상에서 복지가 형성되고 생식생장으로 접어들어 괴경 수가 줄어든다고 하였다. 그러므로 본 시험보다 경삼 육묘 기간을 연장하여 경삼실에서 복지 발생여부, 엽면적, 줄기 굵기, 묘를 이식시 스트레스 등에 대하여 종합적으로 검토하여 경삼묘 육묘 기간 한계기를 설정할 필요가 있다고 생각되었다.

본 시험 결과를 분무경 수경재배에서 경삼묘를 이용할 때 경삼 후 육묘 기간이 25일 묘와 35일 묘가 대체로 수량이 양호 하였는데, 경삼 육묘 기간이 20일 정도 이상일 경우 봄, 가을재배에 무난하다고 판단이 되었다. 또한 정식 시기가 늦어지거나 증식용 묘가 모자랄 때 무발근묘를 이용하여 경삼 육묘 기간을 단축하여 묘를 생산하는 방법도 고려해볼만 하다 생각되었다.

분무경 수경재배에서 정식용 묘로 주로 사용되는 조직배양묘 순화묘와 경삼묘에 대한 주당 생산비를 분석한 결과, 조직배양 순화묘가 360원으로 경삼묘(3회 증식시) 184원보다 약 176원정도 비싸게 생산되었는데, 이는 조직배양실 조성을 위한 시설비 및 기자재의 투입비용이 높았고, 기타 재료비와 노임이 높았기 때문으로 판단되었다. 분무경 수경재배에서 정식용 묘로 조직배양묘를 경삼묘로 대체할 때, 생산성 증가로 인한 수확, 선별, 포장재 등 추가 비용이 발생하나, 묘 생산비가 절감되고, 수량성이 증수되어 1,000m²당 3,544,000원 이익이 발생하였다.

최초의 생장점 유식물체를 기내 증식을 통하여 생산된 조직배양묘를 정식용 묘로 대량 생산 하기 위해서는 많은 배양전문 인력과, 넓은 배양시설을 갖춰야 하는데, 배양시설을 하는데 막대한 예산이 소요되고, 배양전문 인력확보가 어려울 뿐만 아니라 묘 생산비도 증가하여, 현실적인 면을 고려할 때 조직배양 순화묘 줄기를 여러 차례 줄기 꺾꽂이 하여 만들어진 경삽묘가 효율적이라 할 수 있다.

경삽묘를 정식 시기에 따라 봄 재배 시(2013-2014) 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경수는 정식 시기별로 10.00-14.66개로 3월 21일 정식 처리에서 14.66개로 가장 많았고, 3월 28일 정식, 3월 14일 정식, 3월 7일 정식 처리 순으로 많았다. 온도가 괴경 형성에 관여함에 있어, 괴경 형성은 15℃에서 1주일, 25℃에서 3주일 후에 시작되며 최적온도는 20℃라고 하였고(Borash, 1962), 괴경 형성은 29℃에 이루어지지 않는다(Bushnell, 1925)고 하였다. 이러한 결과로 본 시험의 봄 재배 시 정식 시기가 늦을수록 평균 기온이 괴경이 형성하기에 좋은 조건에 놓여 괴경 수가 많아진 것으로 판단되었다.

봄 재배 시(2013-2014) 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경중은 129.9-171.3g으로 3월 21일 정식 처리에서 129.7g으로 가장 많았지만, 3월 14일 정식, 3월 28일 정식 처리와 유의성은 인정되지 않았다. 감자의 괴경 비대는 지온이 22℃일 때 가장 증수되며, 29℃이상에서는 급격함 감소를 보인다(Epstein, 1966). 봄 재배 시 '대지' 품종에 있어 괴경 비대기의 적산온도와 수량성은 부의 상관관을 보이고, 생육 후반기 고온 장일 조건에서는 지상부 생육이 지속되고, 야간 고온으로 광합성 산물이 괴경 비대보다 호흡으로 소모하여 괴경의 비대가 늦어진다고 하였다(조, 2006). 본 시험에서도 지상부 생육이 일시 정지하였다가 경장이 2차 생장을 하여 관찰 할 수 있었고 정식시기가 늦을수록 괴경 숫자는 많이 달렸지만 괴경 비대기인 생육 후반기인 6월에 장일과 고온 조건에 놓이면서 충분히 비대가 되지 않아 유사한 결과를 보였다.

제주에서 경삽묘를 이용하여 분무경 수경재배에서 소괴경 씨감자를 생산할 경우 봄재배 시 괴경 수와 괴경중을 고려할 때 3월 21일 정식 처리에서 괴경 수와 괴경중이 가장 많았으며 3월 28일 정식, 3월 14일 정식 처리에서도 괴경 수는 다소 감소하였지만 괴경중은 차이를 보이지 않아 3월 20일 전후로 정식하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

경삼묘를 정식 시기에 따라 가을 재배 시(2012-2013) 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경 수는 정식 시기에 따라 4.94-7.41개로 9월 21일 정식 7.41개, 9월 14일 정식 처리에서 7.15개로 많아 정식시기가 늦어질수록 괴경 수는 많아지는 경향이였다. 감자는 저온 단일 조건에 놓이게 되면 괴경 착생이 촉진되는데(Bodalender, 1963; Beukema, 1990), 8월 31일-9월 21일까지 정식 시, 정식 시기가 늦을수록 괴경 형성기 기상이 저온 단일조건으로 바뀌면서 괴경 형성에 도움을 주었기 때문으로 사료되었다. 본 시험에서 가을재배에서 괴경 형성기의 10월 일장은 단일조건이었으나, 괴경 형성이 처리간 차이가 있는 것으로 보아 일장보다는 온도에 더 민감하게 반응한 것으로 추정되었다.

가을재배 시(2012-2013) 씨감자 생산에 적합한 주당 3g 이상 괴경중은 정식 시기에 따라 92.8-107.0g으로 정식 시기별 차이가 없었고, 평균 괴경중은 6.3-13.3g으로 정식 시기가 빠를수록 무거웠다. 감자 괴경 비대는 12시간 정도의 일장이 괴경 비대에 좋으며(Wheeler et al., 1986), 일사량이 많을수록 괴경 비대가 촉진되어 수량이 증가되고(Haverkort, 1986), 감자 가을재배에서 괴경 비대기 기온이 20℃ 내외이고, 주야 기온차이가 크면 수량 확보가 용이하다(조, 1963; 강, 1965; 남, 1969). 일단 괴경이 형성된 후의 비대에 있어 일조가 감소하면 앞에서 만들어진 광합성 산물이 감소할 뿐만 아니라 광합성 산물은 주로 지상부 생육에 소비되어 괴경 비대는 현저히 감소한다. 하지만 가을재배 생육기간은 한정되어 있고, 본 시험은 소괴경 씨감자를 생산하기 위해 비닐하우스에 정식하여 수행한 것으로 현실적으로 8월 하우스 내 고온은 유식물체가 정상적으로 생육하기에는 아주 불리한 조건으로 9월에 정식을 하였다. 9월 정식 시 괴경이 비대 되는 시기인 정식 후 45일 경은 10월 중순이후로 괴경 비대 후기로 갈수록 기온이 낮아지고 일사량이 부족할 뿐만 아니라 일조시간도 감소하여 괴경 비대에 불리한 조건이었고, 9월 정식 시 정식시기가 늦어질수록 충분한 괴경 비대가 되지 않아 괴경중이 감소하는 것으로 판단되었다.

감자 분무경 수경재배에서 봄 재배 시 농업 형질들 간의 상관관계는 지상부 생육 형질들 간, 지하부 생육 형질들 간, 지상부와 지하부 생육 형질, 수량 형질들 간에 있어서 경장과 1차 복지수를 제외하고 모든 농업 형질들 간에 유의한 정의 상관관계를 보였다. 본 시험 결과 봄 재배 시 지상부 생육을 양호하게 한다면 지하부 생육은 물론 수량 증수에도 효과적이라 판단되었다. 가을 재배 시는 봄 재배 시와 달리 농업 형질 간

상관관계가 대체로 낮았다. 경장은 줄기 굵기를 제외하고 모든 형질과 유의한 상관을 보였는데, 괴경 수와는 부의 상관을 보였으며, 괴경중과는 매우 높은 정의 상관을 보였다. 실질적으로 괴경이 달리는 1차 복지수와 2차 복지수는 괴경 수와는 정의 상관을 보였지만 괴경중과는 상관이 없었다. 가을 재배 시 지상부 형질은 대체로 지하부 수량특성 중 괴경 수와는 부의 상관을 보였고, 괴경중과는 정의 상관을 보였다.

회귀식을 이용하여 적정 정식일을 산출해보면 봄 재배 시 씨감자 생산에 적합한 3g 이상 괴경은 3월 20일 정식시 가장 많았고, 3g 이상 괴경중은 3월 22일 정식시 가장 많았다. 가을 재배 시 괴경중은 회귀식상에서 유의성이 인정되지 않았으며 3g 이상 괴경 수는 정식시기가 늦을수록 직선적으로 증가하는 경향을 보여 본 시험 기간 동안에 적정 정식기를 산출하는 것이 곤란하였다. 하지만 가을재배 정식일이 10월인 경우 생육 후반 기상이 감자가 생육하기에 곤란하므로 9월 20일 전후로 정식하는 것이 바람직하다고 생각되었다.

생육 시기별로 온도와 일조시간에 있어 봄 재배 시 3g 이상 괴경수와 정식부터 복지발생기까지의 적산온도, 괴경 형성기 적산온도와, 괴경 형성기의 총 일조 시간과 고도의 유의한 정의 상관을 보였다. 그러므로 봄 재배에 정식을 할 때 정식 초기의 저온은 괴경 수 확보에 불리하게 작용하므로 정식시기를 3월 중순 이후로 하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 가을 재배에서 괴경수와 정식부터 복지발생기까지와, 괴경 형성기의 적산온도와 고도의 유의한 부의 상관을 보였고, 총 일조시간과도 같은 경향을 보였다. 따라서 가을 재배에 정식을 할 때 정식 초기의 고온은 괴경 수 확보에 불리하게 작용하므로 정식시기를 9월 중순 이후로 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

VI. 적 요

분무경 수경재배 소피경 씨감자의 효율적인 안정 생산 체계를 확립하고자, 작형별 경삽묘 종류와 정식 시기가 식물체 성장과 소피경 형성에 미치는 영향을 검토하였다. 효율적인 경삽묘 생산 방법을 구명하기 위하여 조직배양 순화묘, 1차, 2차, 3차, 4차 경삽묘와 무발근묘, 15일, 25일, 35일 경삽묘를 이용하였으며, 정식 시기별로 봄재배는 3월 7일부터 3월 28일까지 1주일 간격으로, 가을재배는 8월 31일부터 9월 21일까지 1주일 간격으로 2차 경삽묘를 정식하여 수행하였다.

조직배양 순화묘를 경삽하는 차수에 따라 경장은 봄 재배 시 2차, 3차 경삽묘 처리에서 길었으며, 가을 재배 시 처리 간 차이가 없었다. 복지수는 봄과 가을재배 시 조직배양 순화묘에서 가장 많았으며, 경삽하는 횟수가 증가할수록 감소하는 경향이 있었다. 주당 3g 이상 피경 수는 봄 재배 시 조직배양 순화묘, 1차, 2차 경삽묘 처리 간 차이가 없었으며, 3차와 4차 경삽묘는 적었고, 가을재배 시 조직배양 순화묘에서 가장 많았으며, 경삽하는 횟수가 증가할수록 감소하는 경향이 있었다. 주당 3g 이상 피경중은 봄 재배 시 조직배양 순화묘, 1차, 2차, 3차 경삽묘 처리 간 차이가 없었으며, 4차 경삽묘 처리에서 적었고, 가을재배 시 1차, 2차, 3차 경삽묘 처리 간 차이가 없었으며, 조직배양 순화묘, 4차 경삽묘 처리에서 적었다.

무발근묘와 경삽 후 육묘 기간에 따른 경삽묘의 경장은 봄, 가을 재배 시 육묘 기간이 길어짐에 따라 왕성한 경향을 보였다. 1차 복지수는 봄, 가을 재배 시 무발근묘에서 가장 많았고, 육묘 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향이 있었다. 2차 복지수는 봄 재배 시 무발근묘, 25, 35일 경삽묘 처리간 차이가 없었으며, 15일 경삽묘에서 가장 적었고, 가을 재배 시 무발근묘에서 가장 많았고 그 외 처리간 차이가 없었다. 주당 3g 이상 피경 수는 봄과 가을재배 시 25일, 35일 경삽묘 처리에서 많았으며, 무발근묘, 15일 경삽묘 처리에서 작았다. 주당 3g 이상 피경중은 봄과 가을재배 시 처리별로 주당 3g 이상 피경수와 같은 경향을 보였다.

정식 시기에 따라 봄재배 시 경장은 정식 시기가 늦을수록 길어지는 경향이였다. 1차 복지수는 3월 21일 정식 처리에서 가장 많았고, 2차 복지 수는 3월 21, 3월 28 일 정식 처리에서 많았고, 3월 7일, 3월 14일 정식 처리에서 적었다. 주당 3g 이상 피경 수는 3월 21일 정식> 3월 28일 정식> 3월 14일 정식> 3월 7일 정식 순이였고, 주당 3g 이상 피경중은 3, 14일, 3월 21일, 3월 28일 정식 처리간 차이가 없었으며, 3월 7일 정식 처리에서 가장 적었다.

정식 시기에 따라 가을 재배 시 경장은 정식하는 시기가 늦을수록 감소하는 경향이였고, 1차 복지수는 9월 21일 정식처리에서 가장 많았으며, 2차 복지수는 9월 14일 정식 처리에서 17.8개로 가장 많았다. 주당 3g 이상 피경수는 정식 시기가 늦을수록 많아지는 경향이였고, 주당 3g 이상 피경중은 정식 시기별로 차이가 없었다.

농업 형질들 간의 상관관계는 봄 재배 시 경장과 1차 복지수를 제외하고 유의한 정의 상관관계를 보였고, 가을 재배 시 농업 형질 간 상관관계가 대체로 낮았는데, 경장은 피경 수와는 부의 상관을 보였으며, 피경중과는 매우 높은 정의 상관을 보였다.

VII. 인 용 문 헌

- Ahn. J. H., J. M. Lee, J. I. Yun, Y. I. Hahm and K. Y. Shin. 1996. Modeling of potato growth and yield based on meteorological information. RDA.J. Agri. 38:345-352.
- Ahn. Y. G., S. Y. Na, S. Y. Kim and Y. H. Om. 1995. The effect of photoperiod on *in vitro* tuberization of potato(*Solanum tuberosum* L.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 13(1):92-93.
- Bates, G. H. 1943. Propagation of potato seed tubers from stem. Nature 152:135.
- Bennett, S. M., T. W. Tibbits and W. Cao. 1991. Diurnal temperature fluctuation effects on potatoes grown with 12hr photoperiod. Amer. Potato Journal 68:81-86.
- Beukema, H. P. and D. E. Van der Zaag. 1990. Introduction to potato production. Pudoc. Wageningen. Netherlands. p. 207.
- Bodalender, K. B. A. 1963. Influence of temperature, radiation and photoperiod on development and yield. The growth of potato, Proc, 10th Easter School Agr. Sci, Univ. Nottingham pp. 199-210.
- Borash, M. N., and Miyhorpe, F. L. 1962. Growth of the potato as influenced by temperature. Indian J. Plant Physiol. 5: 53-72.
- Burton, W. G. 1966. The people. 2nd Ed. H. Veenman en Zonen BV, Wageningen, Netherland. pp. 274.

- Bushnell, J. 1942. The relation of temperature true to growth and respiration in the potato plant. Minn. Agr. Expert. Sta. Tech. Bull. 34.
- Chae, W. B., S. J. Ahn, H. S. Choi, Y. B. Kwack, D. H. Goo, M. I. Jeong. 2008. Tuber yield and size distribution of potato 'Dejima' (*Solanum tuberosum* L.) affected by stem cutting ages and harvest time in aeroponics. J. Bio-Env. Con. 17:261-265.
- Chang, D. C., S. Y. Kim. and K. Y. Sin. 1997. Effect of the black PE film mulching of planting bed cover on the growth and tuberization of potatoes grown hydroponically in summer crop. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 15:154-155.
- Chapman, H. W. 1958. Tuberzation in the potato plant. Plant Physiol. 11:215-224.
- Cho, J. H. 2006. Studies on breeding of potato cultivar with short dormancy for double cropping. University of Seoul. Ph.D. Thesis, Korea.
- 조재영. 1963. Gibbereline 처리에 의한 마령서의 추작재배에 관한 연구. 고대농대논문집 1:1-70.
- Cho, J. Y. 1976. Studies on the effects of Various treatment on the tuber formation of potatoes. J. Kor. Soc. Crop. 21(1):125-131.
- Cho, Y. D. 2003. Effect of Storage Conditions for tuber characteristics, development and yield in seed potatoes. Jeju National Univ. Ph.D. Thesis, Korea.
- Choi, Y. W., J. L. Cho, S. M. Kang. 1994. Studies on rapid multiplication of

- microtubers from potatoes(*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* and their practical use several factors affecting *in vitro* microtuberization of potato. J. Kor. Hort. Sci. 33(6):432-437.
- Cole, E. F and N. S. Write. 1976. Propagation of potato by stem cutting. Amer. Potato J 44:301-304
- Cooper, A. J. 1975. Crop production in recirculation nutrient solution. Scientia Hort. 3:251-258.
- Epstein, E. 1966. Effect of soil temperature at different growth stages on growth and development of potato plants. Agron. Jour. 58:169-171.
- Ewing, E. F. 1978. Shoot, stolon, and tuber formation on potato cutting in response to photoperiod. Plant Physiol. 61:348-353.
- Gray, D. and J. C. Holmr. 1970. The effect of short periods of shading of different stages of growth on the development of tuber number and yield. Potato Res. 13: 215-219.
- Gregory, L. E. 1956. Some factors for tuberization in the potato plant. Amer. J. Bot. 43:261-288.
- Grislerod, R. M. and R. J. Kempton. 1983. The oxygen content of flowing nutrient solution used for cucumber and tomato culture. Scientia Hort. 20:449-452
- Hamann U. 1974. Intensive propagation of potato. Poland Instit. Bonin, The potato
- Han, E. J. 1987. Effects of growth regulators and medium preparation method on *in vitro* tuberization of the potato. Seoul Woman's Univ. M.S. Thesis, Korea.

- Haverkort, A. J. and P. M. Harris. 1986. Conversion coefficients between intercepted solar radiation and tuber yield of potato crops under tropical highland conditions. *Potato Res.* 29: 529-533.
- Hawkes, j. k. 1994. Origins of cultivated potatoes and species relationship. pp. 467-497. In: J. E. Bradshaw and G. R. Mackay (eds.). *Potato Genetics*. CRCPress, Boca Raton, FL.
- Hirst, J. M. and G. A. Hide. 1967. Attempts to produce pathogen-free stocks. *Rothamsted Expt. Stn. Report.* pp. 129.
- Hong, S. Y., J. W. Kim, Y. W. Kang, Y. M. Yang and H. S. Kang. 2004. Potato basal stem rot caused by *Pythium myriotylum* in hydroponic cultural system. *Res. Plant Dis.* 10:13-16.
- Hussey, G. and N. J. Stacey. 1984. Factors affecting the formation of the potato(*Solanum tuberosum* L.). *Ann. Botany* 53:565-578.
- 장동철, 김현준, 조지홍, 윤영호, 김승열, 신관용. 1998. 소과경 생산을 위한 양액 재배 기술 개발 연구. *고령지시험장 시험연구보고서.* PP.144-153.
- 임명순, 김승열, 김정간, 최영하. 1990. 감자더텅이병 생태 및 방제에 관한 연구. *원예시험장 시험연구보고서.* pp.324-339.
- Ingram, K. T. and D. E. Mccloud. 1984. Simulation of potato crop growth and development. *Crop Sci.* 24:21-27.
- Izumi, S. 1987. The relationship between annual variation of yield and weather on spring and autumn potato. *Annual Report of Nagasaki Agri. and Forestry Experiment Station(Agriculture)* 15:21-28.

- Joung, H. 1989. Mass production of potato microtuber by tissue culture technique and application. '89 Agricultural biotechnology symposium, pp. 100-124.
- 강종구, 김승열. 1995. 養液栽培에 의한 감자 小塊莖形成 및 肥大促進에 관한 研究. 農業科學論文集(원예편) 37:187-199.
- Kang, J. G., S. Y. Kim., H. J. Kim., Y. H. Om and J. K. Kim. 1996. Growth and tuberization of potato(*Solanum tuberosum* L.) cultivars in aeroponics, deep flow technique and nutrient film technique culture systems. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37:24-27.
- Kang. H. S., K. H. Hyun, H. G. Lee., and Y. K. Kang. 2006. Effects of transplant raising method on growth and tuber yield of potato grown in aeroponics system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 24:32-36.
- Kang, S. W. 1970. Effect of the periods and the methods of seeding and the seed bed location on the sprouting of seed pieces of fall grown potato. Korean J. Crop Sci. 8:121-128.
- Krug, H. 1965. The importance of the photo period-temperature of potato varieties for breeding and cultivation. Eur. Potato. J. 8:14-27.
- 川上辛治郎 . 1936. 春作馬鈴薯に於ける種薯の改善みに就て. 農業と經濟 3:399-405.
- 김찬우. 2003. 순환식 심지양액재배 시스템에 의한 우량 씨감자 생산기술 개발. 박사학위논문. 제주대학교대학원. p105.
- Kim, H. J., J. G. Kang, Y. H. Om, J. K. Kim, and K. S. Kim. 1996.

Effect of methods used for the production of plantlet from shoot cultured *in vitro* on the growth and yield of hydroponically grown potato. RDA. J. Agri. Sci. 38:217-222.

Kim, H. J., S. Y. KIM, K. Y. Sin. 1997. Production method of basic seed potato(*Solanum tuberosum* L.) by stem cuttings, microtuberization and hydroponic culture. Korean J. Plant Tissue Culture 24(2):83-86.

Kim, H. J., W. B. Kim., K.. S. Choi. 1993. studies on small seed potato(*Solanum tuberosum* L.) multiplication by hydroponic and its practical use. RDA. J. Agri. Sci. 35:524-529.

Kim, K. T and Y. B. Park. 1999. Effects of temporary reductions of solution on tuberization of potato(*Solanum tuberosum* L.) in hydroponics. J. Bio-Env. Con. 8:30-35.



Kim, S. Y., D. S. Chang, H. J. Kim, and K. Y. Shin. 1998. Studies on the hydroponics technique for seed mass-production of potatoes. (1. Studies on the hydroponics technique for mini-tuber production of potatoes(*Solanum tuberosum* L.)). Research Report RDA p. 4-46.

김승열, 윤영호, 박천수, 장동철. 1999. 양액배배에 의한 씨감자 생산 효율증대 시험. 고령지농업시험장 시험연구보고서:175-178.

Kim, S. Y., D. C. Chang, H. J. Kim, and K. Y. Shin. 2002. Improvement of rooting of stem cutting propagated *in vitro* through hydroponics in potato. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 20:29-31.

Krug, H. 1965. The importance of the photo-temperature response of potato varieties for breeding and cultivation. Eur. potato. J. 8:14-27.

- Ku, O. S., H. Y. Kim, and U. S. Lee. 2000. Rapid multiplication of potato(*Solanum tuberosum* L.) stem cutting based on nutrient culture system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:161-165.
- Lee, D. K., S. K. Choi. and K. P. Han. 1985. A study on the culture of seed potato in the southern seaside district. Res. Rept. RDA(Hort) 27(1):6-12.
- Massantini, F. 1985. The light and dark sides of aeroponics. Soiless Culture 1:85-96.
- Maxwell, K. 1986. Soiless(hydroponics) culture—the past, present and future. Soiless Culture 2:27-34.
- Morel, G. and C. Martin. 1955. Guerison de pommes de terre atteintes de maladies a virus. Agric Fr. 41:471-474
- 남인희, 김광윤. 1969. 가을감자의 과종적기 선정 시험. 제주시험장연구보고서. pp. 29-43.
- Nukaya, A., W. Voogt and C. Sonneveld. 1992. Effect of NO₃, SO₄ and Cl ratios on tomatoes grown in recirculation systems. Acta Hort. 303:91-98.
- 오현동. 1996. 재배식물의 기원과 전파. PP. 135-136. 제주문화.
- Slater, J. W. 1968. The effect of night temperature on tuber initiation of the potato. Eur. Potato J. 11:14-22.
- 田中 智. 1986. 馬鈴薯の急速増殖法. 農業お よび 園藝 第12號53-58

Werner, H. O. 1934. The effect of a controlled nitrogen supply with different temperature and photoperiod upon the development of potato plants. Neb. Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 75.

Wheeler, R. M., and T. W. Tibbitts. 1986. Utilization of potatoes for life support system in space. I. Cultivar-photoperiod interaction. Amer. Potato J. 63: 315-323.

Wheeler, R. M. and T. W. Tibbitts. 1987. Utilization of potatoes for life support system in space. III. Productivity at successive harvest dates under 12-h and 24-h photoperiod. Amer. Potato J. 64:311-320.

Wiersema, S. G. 1985. Physiological development of potato seed tubers. Technical Information Bulletin 20, International Potato Center, Peru. p. 16.

윤영호, 박천수, 장동철, 강용구, 허봉구. 1998. 양액재배를 이용한 씨감자 생산성 향상기술연구. 고령지시험장 시험연구보고서. PP.1-7.

Zobel, R. W., D. T. Peter and G. T. John. 1976. Method for growing plants aeroponically. Plant Physiol. 57:344-346.

감사의 글

오늘 이 논문이 완성되기까지 지난 10년간 항상 깊은 애정과 큰 가르침을 주신 송관정 지도교수님께 머리 숙여 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 논문 심사에 많은 조언과 격려를 하여주신 강훈 교수님, 조영열 교수님, 김봉찬 국장님, 김성배 박사님께 진심으로 감사드립니다. 박사과정 동안 지도 편달을 아끼지 않으셨던 박용봉, 문두길, 소인섭, 한상현 교수님 감사합니다.

감자에 대하여 항상 관심을 갖고, 이 연구를 수행할 수 있도록 많은 배려와 격려를 해주신 농업기술원 김우일 원장님, 강성근 국장님, 송승운 장장님께 감사드립니다. 특히, 제가 감자와 인연을 맺게 해주시고, 어려울 때마다 격려를 해주신 김용철 전 농산물원종장장님께도 고마운 말씀을 전합니다. 또한 항상 힘이 되어주신 식량작물연구실 오한준 실장님을 비롯한 송인관, 김성룡, 강태완, 양석철 연구사님 등 동료 직원 여러분 감사합니다.



씨감자 생산 사업에 최선을 다하고 논문 수행에 많은 도움을 주신 고명식님, 박미순님을 비롯한 현장 동료와 제주대학교 과수육종연구실 오은의님을 비롯한 실험실 동료 여러분 고맙습니다.

지금까지 늘 염려와 변함없는 믿음을 주시고 집안에 버팀목이 되어주시는 아버님과 어머니, 형님, 누님, 동생들, 부족한 사위를 항상 애정으로 감싸주시는 장인, 장모님, 처형, 처남에게 감사드립니다.

끝으로 사랑하는 아내 최선숙, 항상 아빠를 믿어주는 큰아들 경준, 막내 완준에게 고마운 마음을 전하며 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.