

농산물의 진공예냉 특성에 관한 연구

Study on Characteristics of Vacuum Cooling for Agriculture Products

이원옥* 윤홍선* 정 훈* 이현동* 조광환* 이경환*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
W.O.Lee H.S.Yun H.Chung H.D.Lee K.H.Cho K.H.Lee

1. 서 론

생활수준이 향상되면서 식생활도 고급화되는 것과 동시에 채소나 과실과 같은 농산물도 신선하면서 맛과 향이 뛰어난 고품질 방향으로 개선되어가는 추세이다. 대부분의 농산물은 수확후에도 생명현상을 유지하기 위한 호흡작용으로 인하여 호흡열이 발생한다. 그러므로 시간이 경과됨에 따라 농산물은 계속 부패를 하게 되므로 품질을 유지하기 위하여 수확후 가능한 빠르게 또 급속히 품온을 낮추어 청과물의 생리활성을 억제하기 위한 예냉작업이 필요하다. 특히 배추와 같이 수분함량이 많고, 부패성이 강한 채소류의 경우 산물 적재 출하될 경우 도매시장이나 소비자 시장에서 다시 다듬기, 포장등 재작업을 해야하는 번거로움과 쓰레기처리 문제가 대두되고 있으며 조직이 취약해 수송과정중 파손이나 품질열화가 문제되고 있다. 이러한 특성 때문에 유럽, 미국, 일본등 유통선진국에서는 수확 후 선별, 포장하여 진공예냉처리를 한 후 저온유통시키는 것이 거의 관례화 되어있다.

진공예냉은 주위의 압력이 낮아지면 물의 끓는점이 동시에 낮아지게 되어 이때 증발한 수증기에 의하여 빼앗긴 증발 잠열에 상당하는 만큼 품온강하가 일어나 냉각이 이루어지는 예냉방식으로 단시간(20~30분)에 냉각을 완료 할 수 있어서 표면적이 넓은 채소류에 광범위하게 적용되고 있다. 특히 예냉과정중에 표면수분의 손실에 따라 외부조직이 단단해짐으로써 유통중 손실을 줄일 수 있는 이점이 있어 상추와 같이 조직이 취약한 엽채류에 탁월한 효과가 있다

그러나 아직 우리나라는 진공예냉에 대한 연구가 초기단계로써 국내 실정에 맞는 진공예냉방법 및 국내 농산물의 특성에 맞는 진공예냉특성에 대한 연구가 미미한 실정으로 현재 진공예냉기를 전량 수입하여 산지유통센터에 보급하고 있는 실정이다. 이에 따라 고가의 예냉장치가 일부 배추에만 국한되어 사용되고 있어 효율이 떨어지며, 고가의 가격으로 인하여 고품질 농산물의 생산에 장해요인이 되고 있다. 따라서 저가의 효율적인 진공예냉장치를 개발하고자 효율적인 설계를 위하여 파일럿 규모의 진공냉각장치를 이용 농산물의 진공냉각특성 및 적정진공압력, 포장방법에 따른 진공냉각특성 등을 구명하여 진공예냉장치의 실용화 기술개발을 위한 설계인자를 구명하기 위하여 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 요인시험장치 제작

농산물의 진공예냉특성을 구명코자 요인시험장치를 제작하였다. 시험장치는 진공챔버, 콜드트랩, 콜드트랩용 냉동기, 진공펌프로 구성되어있고 압력센서, 온도센서와 로드셀 등을 이용 농산물의 상태변화를 측정할 수 있도록 구성하였고, 시험장치의 제원 및 구조는 표1과 그림1에 나타내었다. 실험은 Cold trap 표면온도를 -7℃로 유지한 조건에서 행하였고, 진공챔버내 시료중량은 load cell을 이용하여 측정하였으며, 챔버내의 압력은 Capacitance형 전압계로 검출하고, 진공챔버내 진공도는 컴퓨터로 이용하여 전자변을 제어하여 조절하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

표 1. 시험장치의 제원

진공챔버		진공펌프		콜드트랩		로드셀	
크 기	형 태	형 식	용 량	표면온도	냉동기	용 량	정밀도
600×600×516(L×W×H,mm) 전후면10mm, 몸체8mm(t)	사각	유체회전식	380 l/min	-7℃	2Hp	4kg	0.01g

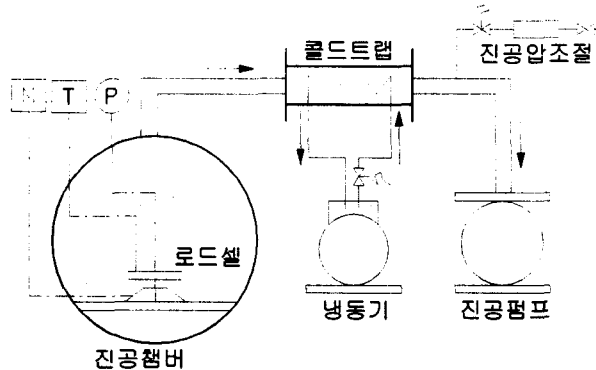


그림 1. 요인시험장치

나. 시험재료

본 연구의 공시재료는 가락동시장에서 구입한 배추, 상추 및 버섯 3가지의 농산물과, 진공하에서의 물의 증발특성을 구명하기 위하여 증류수를 시료로 사용하였다.

다. 시험방법

진공냉각특성을 구명하고자 농산물형태, 진공압력, 포장방법 및 예냉전 가수처리별로 냉각시험을 실시하여 냉각균일도, 중량감모율, 예냉소요시간을 측정하였다. 진공압은 760Torr~4.5Torr 까지 조절하여 예냉시험을 실시하였다. 냉각균일도는 배추의 경우 배추 표면과 심부의 온도차를 측정했으며, 버섯의 경우에는 버섯의 갓과 줄기의 온도차를 비교하고, 상추는 적재상자내의 바깥부분과 중앙부분의 온도차를 측정하여 냉각균일도를 비교하였다. 중량 감모율은 예냉전 시료의 무게와 예냉 완료 후 무게 변화비로 측정하였다. 포장방법에 따른 냉각특성을 비교하고자 배추는 골판지상자의 통기공 여부와 골판지상자와 PE상자를 비교하였으며, 포장에 따른 차이를 비교하고자 상기방법과 병행하여 각 개체를 개공율이 0.17%, 0.003%인 비닐팩에 포장하여 시험하였다. 또한 상추는 골판지상자내의 비닐 내포장 유무와 비닐팩 포장방법별로 시험하였으며, 버섯에 대해서는 비닐팩 포장방법별로 시험을 실시하였다. 가수유무에 따른 시험은 배추와 버섯을 대상으로 배추는 살수와 침수방식을 버섯은 살수방식으로 가수하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 농산물형태별 진공냉각특성

물의 진공하에서의 증발특성을 알아보기 위하여 시험장치내의 건구온도와 습구온도를 측정하고, 물의 온도를 측정한 결과 그림 2와 같이 건구온도는 초기에 4℃까지 급격히 하강한 후 다시 온도가 상승하여 냉각완료시까지 일정하게 초기온도를 유지하였고, 습구온도는 초기 온도변화가 일어난 후 진공압과, 증류수의 온도변화와 거의 유사한 경향을 나타냈다.

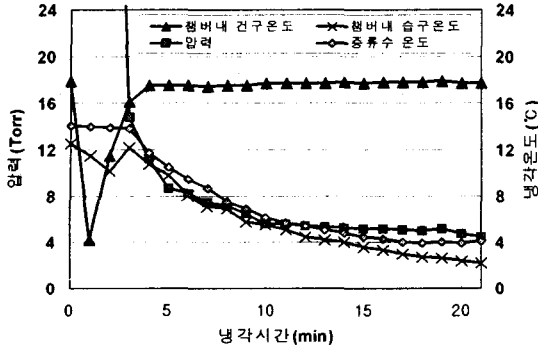


그림 2. 증류수의 진공냉각특성

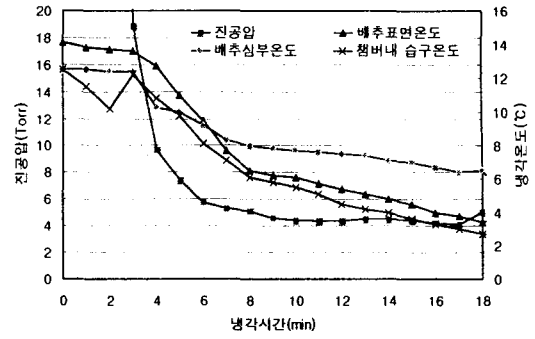


그림 3. 진공냉각에 따른 배추의 냉각특성

또한 배추, 상추, 버섯을 대상으로 진공압을 대기압(760Torr) 상태에서 4.5Torr까지 조절하여 시료의 품온을 2°C내외까지 되도록 냉각시험을 실시한 결과 농산물 형태에 따른 진공냉각특성은 챔버내 압력을 4Torr 까지 비례적으로 제어했을 경우 배추와 같이 조밀하게 결구되어 있는 농산물은 표면과 심부의 온도편차가 증가하여 4.8°C 차이를 나타냈으나(그림3) 상추 및 버섯과 같이 분리된 각각의 개체가 상자에 포장된 경우는 진공압력에 따른 온도편차가 0.2°C, 0.6°C로 거의 균일한 냉각이 가능하였다.(그림4, 그림5). 또한 각시료의 챔버내 습구온도 변화는 시료의 품온변화와 유사한 경향을 나타내 진공냉각에 의한 작물의 품온변화를 습구온도를 측정하여 품온변화 경향을 알 수 있을 것으로 판단된다. 냉각이 완료된 후의 중량 감모율은 표2와 같이 배추가 1.2% 상추나 버섯에 비하여 낮게 나타났다.

표 2. 작물별 진공예냉 소요시간 및 중량감모율

작 물	초기온도 (°C)	최종온도 (°C)			예냉소요시간 (min)	중량감모율 (%)
		표면	심부	편차		
배 추	13	1.5	6.3	4.8	17	1.2
상 추	13	0.9	1.1	0.2	11	1.5
버 섯	13	*a 1.3	*b 0.7	0.6	11	1.8

*a : 버섯 갓의 온도 *b : 버섯 대의 온도

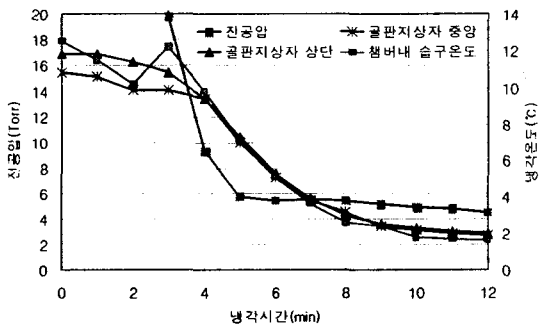


그림 4. 진공냉각에 따른 상추의 냉각특성

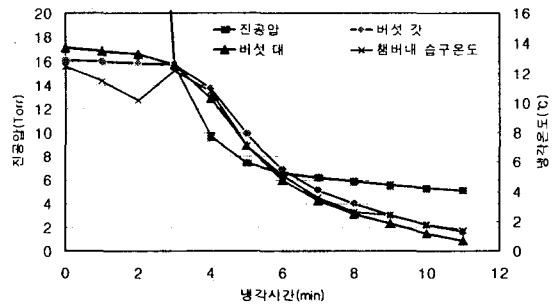


그림 5. 진공냉각에 따른 버섯의 냉각특성

나. 진공압조절 방법별 진공냉각특성

배추와 같이 조밀하게 결구되어 있는 작물일 경우 냉각완료 후 표면과 심부의 온도편차가 증가하여 온도편차를 줄이기 위해 진공압을 조절하여 시험을 실시하였다. 챔버내 진공압조절은 프레스

포인트 즉, 시료로부터 수분이 급격히 증발하여 품온이 초기온도의 1/2이 되었을 때를 기준으로 압력을 변화시켜 냉각특성을 시험하였다(그림6, 그림7, 그림8, 그림9). 그 결과 그림9 에서처럼 챔버내 압력을 프레스 포인트(4Torr내외)에서 압력을 심부온도가 표면온도와 비슷해질 때까지 상승시키고 그 이후부터 품온에 따라 압력의 변화를 일정하게 유지했을 경우 표면과 심부의 품온편차를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

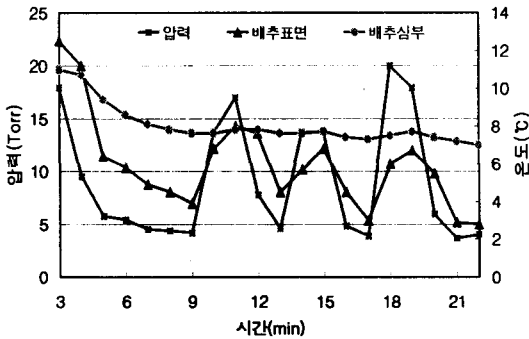


그림 6. 진공압력을 4~20Torr 사이에서 설정과 해제반복 (I)

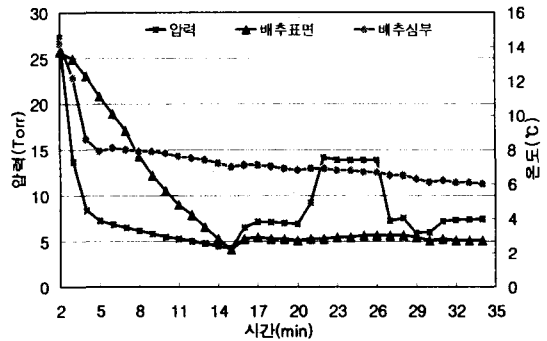


그림 7. 진공압력을 4Torr에서 14Torr까지 상승시킨후 다시 하강(II)

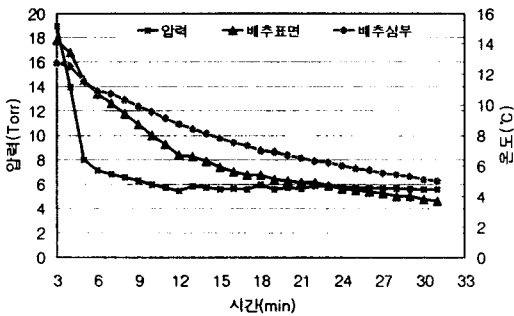


그림 8. 진공압력을 8Torr에서 농산물 품온에 따라 압력조절(III)

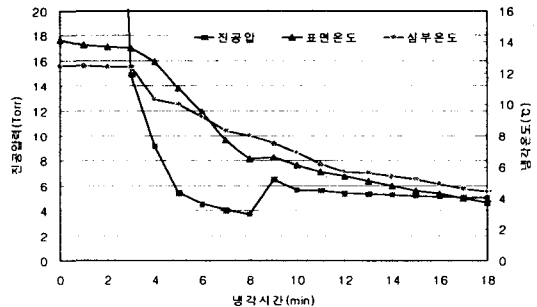


그림 9. 진공압력을 4Torr에서 표면온도와 유사한 온도까지 상승시킨 후 품온에 따라 압력조절(IV)

또한 표3 에서와 같이 진공압력 조절IV가 냉각 완료 후 표면과 심부의 온도차를 줄여 균일한 냉각을 행할 수 있었으며, 냉각소요시간도 단축할 수 있는 것으로 나타났다. 중량감모율의 경우 다른 처리구에 비하여 높게 나타났으나 배추의 품질에는 영향을 미치지 않았다.

표 3. 진공압에 따른 냉각특성 비교

구 분	초기온도 (°C)	최종온도 (°C)			예냉소요시간 (min)	중량감모율 (%)
		표면	심부	편차		
진공압력 조절시(I)	12	2.8	7	4.2	22	1.3
진공압력 조절시(II)	14	2.7	6	3.3	34	1.8
진공압력 조절시(III)	13	3.7	5	1.3	31	1.7
진공압력 조절시(IV)	13	4.1	4.7	0.6	21	1.9

다. 포장방법에 따른 냉각특성

배추 포장상자에 따른 냉각특성은 그림10과 같이 무개공 골판지상자, 개공율 5% 골판지상자 및 PE 상자에서 진공압력에 따른 냉각 특성은 유사하였다. 통기공 6mm가 9개 있는 비닐팩(340×440mm)에 포장되어 있는 농산물의 냉각 특성은 일반 골판지상자의 냉각 특성과 유사하였지만, 통기공 0.8mm가 있는 비닐팩의 농산물은 냉각속도가 현저히 낮아졌다. 그러나 배추와 같이 결구성 작물에서는 비닐팩 포장하여 진공냉각할 경우 배추표면보다도 심부의 온도가 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다 이는 수증기의 증발이 비닐팩에 의해 저항을 받게 되어 배추표면의 열이동보다 심부내의 열이동이 빨리일어났기 때문인 것으로 판단된다.

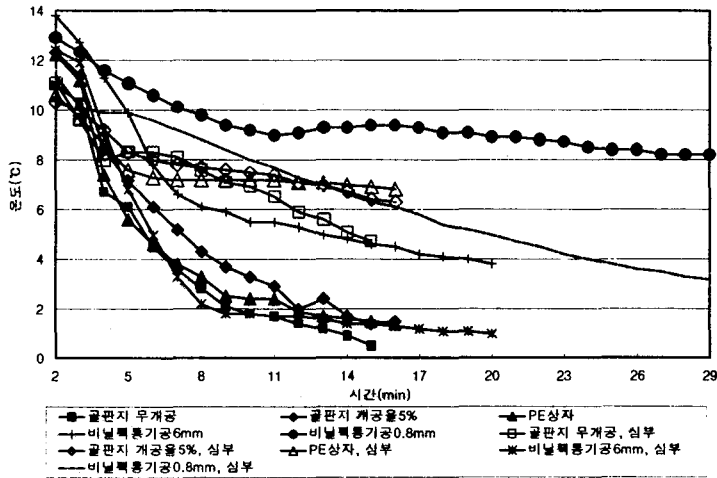


그림 10. 배추의 포장방법별 냉각특성

상추 포장상자에 따른 냉각특성은 그림11과 같이 골판지 상자내 비닐 내포장유무에 관계없이 냉각특성은 유사하게 나타났고, 통기공 6mm 비닐팩에 포장하였을 경우에는 골판지상자의 냉각속도와 유사하였지만, 통기공 0.8mm의 비닐팩으로 포장한 농산물은 냉각속도가 현저히 낮아졌다(그림12).

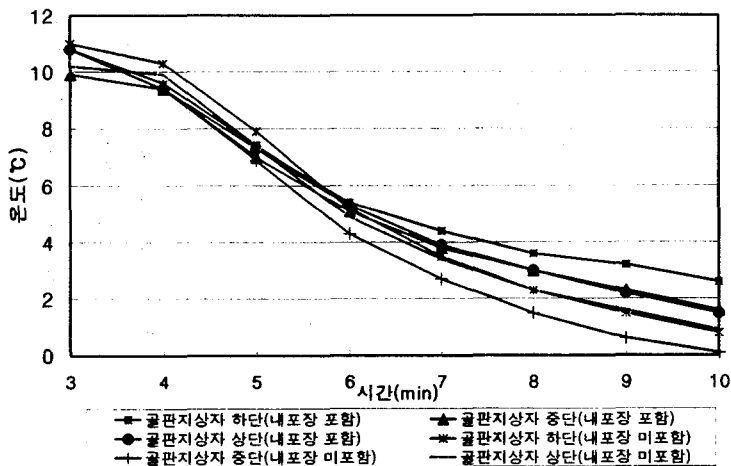


그림 11. 상추의 골판지 내포장방법에 따른 냉각특성

버섯에서도 그림13과 같이 비닐팩 포장상자에 따른 냉각특성은 상추의 냉각특성과 유사하게 나타났다. 따라서 진공냉각에 필요한 비닐팩의 최소 개공율을 조사할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

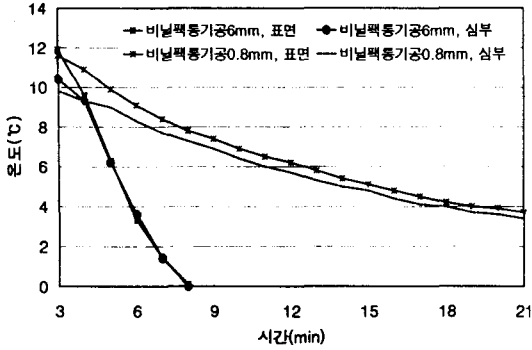


그림 12. 상추의 비닐팩 포장방법에 따른 냉각특성

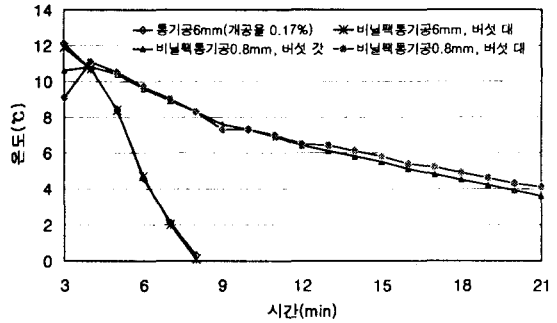
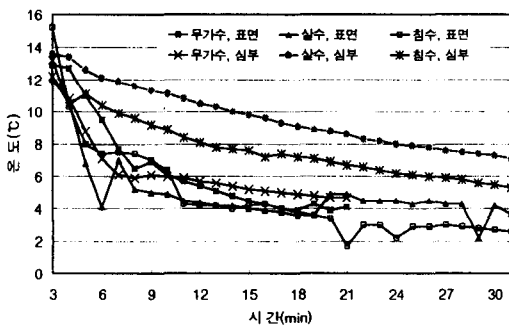


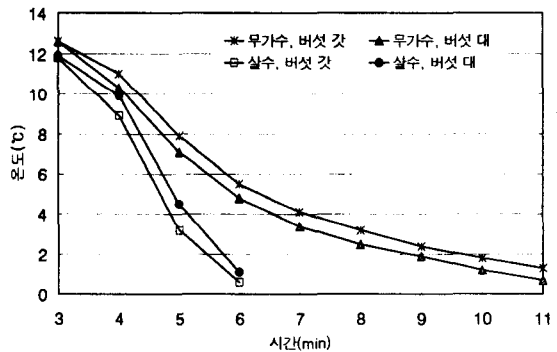
그림 13. 버섯의 비닐팩 포장방법에 따른 냉각특성

가수에 따른 냉각특성
 배추와 같은 결구성 농산물에 있어서 사전가수는 감모율 저하에는 효과적이었으나 무가수에 비해 냉각균일도가 낮아지고 예냉 소요시간이 증가되는 것으로 나타났다. 가수 방법에 따라서는 유사한 경향을 나타냈다.(그림 14, 표5) 버섯에 있어서 사전가수는 감모율 저하 및 냉각속도 향상에 도움이 되는 것으로 나타났다.(그림 15, 표5)



※ 가수량 : 7.8ml/kg

그림 14. 배추의 가수에 따른 냉각특성



※ 가수량 : 10.3ml/kg

그림 15. 버섯의 가수에 따른 냉각특성

4. 적 요

진공냉각장치의 효율적인 설계를 위하여 파일럿 규모의 진공냉각장치에서 진공압력에 따른 작물별 냉각특성과 운전조작에 따른 냉각특성을 구명하는 요인실험을 실시한 결과

가. 배추와 같이 조밀하게 결구되어 있는 작물은 프레스시 포인트로부터 습구온도와 품온에 따라 진공압을 조절함으로써 표면과 심부의 온도편차를 줄일 수 있고 버섯, 상추와 같이 개체가 작은 작물은 진공압력에 따른 온도편차가 거의 나타나지 않았다.

나. 포장방법에 따른 냉각 특성에서는 무개공 및 개공율 5% 골판지상자, PE 상자, 6mm 통기공이 있는 필름 포장에서의 냉각속도는 유사한 경향을 나타냈으나 0.8mm의 통기공을 가지고있는 필름 포장에서는 냉각속도가 현저히 낮게 나타나 필름 포장을 했을 경우 최소 개공율의 구멍이 필요한 것으로 나타났다.

다. 예냉전 농산물 표면에 가수를 했을 경우 배추와 같은 결구성 농산물은 감모율 저하에는 효과적이었으나 무가수에 비해 냉각균일도와 냉각속도가 낮게 나타났으며 버섯에서는 감모율 저하 및 냉각속도 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다

5. 인용문헌

- 가. Karl McDonald, Da-Wen Sun. 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of Food Engineering 45. P55~65
- 나. Tambunan, A.H등(1993) 蒸發境界層 モデルシミュレーション による 眞空冷却效果の 檢討, p417-418
- 다. Shankargouda P.등, (1989) Effect of prehavest sprays of triacontanol on the storage life of lettuce. J. Food. Sci. Tech. 26, p156-157