

零下溫度에서 마늘의耐寒特性에 관한 研究

朴武鉉·金俊平*·申東斌

농수산물유통공사 종합식품연구원, *중앙대학교 식품가공학과

Studies on Cold Resistance of Garlic Bulbs at Subzero Temperature

Moo-Hyun Park, Jun-Pyong Kim* and Dong-Bin Shin

Food Research Institute / AFMC, Banwol, Kyonggi-do

*Department of Food Science and Technology, Chung Ang University, Seoul

Abstract

Cryoprotectivity of garlic bulb caused by the freezing point depression was studied to establish the possibility of preserving the garlic at subzero temperature. Freezing point of fresh garlic tissue showed almost consistency, ranged from -4°C to -5°C regardless of the cultivation area. However, the freezing point was varied with the postharvest treatment and storage conditions, so that freezing point of fresh garlic was -3.5°C before predrying, -4.5°C after predrying, -5.5°C after 5 months of storage and that of dead tissue was -2.5°C . Freezing lethality of fresh garlic bulb preserved at -4 , -6.5 and -15.5°C were 0, 10 and 70%, respectively. From these results, it was concluded that critical lethal temperature might be $-5\sim-6^{\circ}\text{C}$. The respiration rate of garlic bulb decreased with lowering the storage temperature down to -4°C . Q_{10} value was 2 at the temperature range of $-4\sim-5^{\circ}\text{C}$, 3 at $5\sim15^{\circ}\text{C}$ and 1.2 at $15\sim37^{\circ}\text{C}$. In conclusion, optimal temperature for garlic storage was -4°C when considering the cryoprotectivity of garlic bulb at subzero temperature.

Key words: garlic, freezing point, storage

서 론

마늘을 영하 온도에서 비동결 상태로 저장하고자 하는 본 연구에 관계되는 생체조직의 凍結 抵抗性⁽¹⁻³⁾(freezing resistance) 발생에 대하여 Levitt 등은 다음과 같이 6가지 경우를 들어 설명하고 있다. 즉 (1) 體溫降下의 忌避(avoidance of low temperature), (2) 過冷却 현상에 의한 동결기피(freezing avoidance by super cooling), (3) 내용성분의 빙점 강하에 의한 동결기피(freezing avoidance by lowering the freezing point), (4) 세포 내부의 동결기피(avoidance of intracellular freezing), (5) 세포 외부의 凍結耐性

(tolerance of extracellular freezing) (6) 세포내부의 동결내성(tolerance of intracellular freezing) 등이다. 이중 과냉각 현상 및 氷點 강하에 의한 동결저항성이 가장 대표적인 것으로 과냉각 현상에 의한 동결기피⁽²⁻¹⁰⁾에 대한 연구는 1906년 Wegond⁽³⁾가 27개종의 식물 싹(buds)에 대하여 凍結實驗을 하였던 바 8종에서 -18°C 까지의 과냉각 현상을 4종에 대하여 -26.5°C 의 과냉각 현상을 발견하였다고 보고하였다. 그리고 내용성분의 빙점 강하에 의한 동결기피⁽¹⁰⁻¹⁹⁾(avoidance of freezing by lowering the freezing point) 현상은 조직내의 可溶性固形分의 증가에 의한 자유수의 감소와 결합수의 증가에 의하여 이루어지며 대부분의 청과물은 凍結點이 곧 내한성의 지표가 되고 있다. 1962년 岩田⁽⁵⁾ 등이 조사한 청과물류의 빙점은 포도가 $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$, 사과 -2°C , 딸기 -1.2°C 였으며 야채는 과실보다 조금 높아 -0.9°C 양배추가 -0.4°C 정도라고 보고하고 있다. 그리고

Corresponding author: Moo-Hyun Park, Food Research Institute, Agricultural Fishery Marketing Corporation, 148-1, Dangsu, Banwol, Hwaseong, Kyonggi-do 445-820

마늘에 대한 빙점 조사보고는 ASHRAE의 data book^(20,21)(62년)의 최고 빙점 -0.83°C 와 Nuri N. Mohsenin⁽¹⁾의 -3.66°C 등이 보고되어 있다. 이상에서와 같이 생체조직의 동결 저항성^{3,6)}은 빙점 강하 및 과냉각 현상에 의하여 이루어졌다고 할 수 있다. 따라서 필자는 마늘의 영하조건에서 저장 가능성을 검토하기 위하여 저장 온도 강하에 따른 호흡 억제 효과 및 빙점, 과냉각점 및 각 영하 온도에서의 동결치사 현상을 조사하였기에 보고 한다.

재료 및 방법

試料

1983년산을 산지별(의성, 서상, 무안, 여수, 남해, 수원)로 농가에서 직접 구입 사용하였다.

實驗方法

呼吸量: 정치식 방법⁽²²⁾에 의하여 KOH에 吸收된 CO_2 량을 측정하였다.

氷點의 측정^(5,6,11) 방법: 생체 조직은 Fig. 1의 E (thermocouple needle)를 인편 중심부에 꽂아 B(냉동액 -20°C)에 넣어서, 분말 및 추출물은 20, 30, 40. Brix로 조제하여 glass sample tube(D)에 넣어 시간 온도 변화에 따른 동결곡선을 그려 빙점을 측정하였다. 이 방법은 시료의 동결곡선중 과냉각 현상 다음의 最大氷結晶 形成帶^(6,23)의 시작점을 빙점으로 하였다.

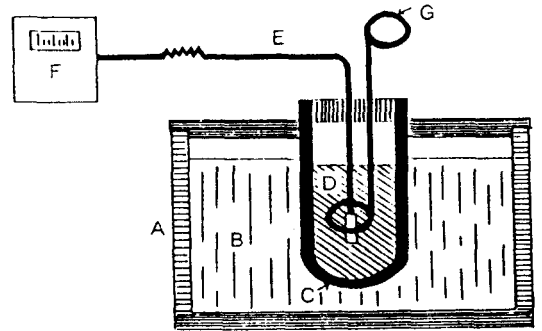


Fig. 1. Schematic diagram for determination of freezing point.

- A: Insulated chamber for Refrigerant
- B: Refrigerant
- C: Glass sample tube
- D: Sample solution
- E: Thermocouple probe
- F: Temperature recorder (Model DR 030N, Chinol)
- G: Stirrer

결과 및 고찰

산지 및 수확후 처리기간별 영점변화

마늘 인편조직의 동결곡선에서 나타난 빙점 및 과냉각점은 Table 1과 같이 빙점은 약 $-3.0 \sim -5.5^{\circ}\text{C}$ 로 원료산지별로는 차이가 크지 않았으나 수확후 처리 조건 및 저장기간의 경과에 따라 다소 차이가 보여 수확직후(無豫乾) -3.5°C , 豫乾後 -4.5°C 저장 5개월 후 -5.5°C 로 나타나고 있다. 이는 시료 마늘의 건조 조건에 따라 鱗片 水分의 감소로 조직 체

Table 1. Periodical changes of the freezing and the super cooling points of garlic bulb

Growing area	Moisture content(%)			Freezing point(%)		Suppercooling point ($^{\circ}\text{C}$)
	After harvest	After Predrying	After harvest	Predrying treatment after harvest	After 5 month storage	
Yeosu			$-3.0 \sim -3.5$	-4.5	-4.5	
Muan			$-3.5 \sim -4.0$	-4.5	-4.5	
Nam-weon			$-3.0 \sim -3.5$	-5.0	-5.5	
	64-66	60-62				$-6 \sim -15$
Euise-ong			$-3.0 \sim -3.5$	-4.5	-5.5	
Seosan			$-3.5 \sim -4.0$	-4.5	-4.5	
Suweon			$-3.0 \sim -3.5$	-4.5	-5.0	
Total rang	64-66	60-62	$-3.0 \sim -4.0$	$-4.5 \sim -5.0$	$-4.5 \sim -5.5$	$-6 \sim -13$

액의 가용성 고형물의 농도 변화에 의하여 발생된 것으로 사료되며 빙점 측정을 위한 빙결 과정에서 과냉각 현상이 나타났으며 그 온도 범위는 -6~-15°C였다. 이상의 결과는 마늘이 기타 과실이나 채소류의 氷點⁽⁵⁾ 즉 포도 -2~-4°C 사과 -2°C, 딸기 -1.2°C, 토마토 -0.9°C, 양배추 -0.4°C에 비하여 상당히 낮은 것이며 ASHRAE^(20,21)와 Nuri N. Mohsenin⁽¹⁾가 보고한 마늘의 氷點 -0.88°C -3.6°C보다 낮은 것이다. 따라서 한국산 마늘은 영하 온도에서의 저장 가능성이 높을 것으로 추정된다.

生體組織과 死體組織의 氷點 對比

鱗片組織 細胞가 살아 있는 경우와 凍害등을 입어 죽은 경우의 氷點을 對比하였던 바 Fig. 2와 같이 生體조직의 경우는 平均 -4°C였고 死體 조직의 경우는 -2.5°C로 생체조직의 氷點이 1.5°C 낮았다. 이 결과는 Hatakeyama⁽²³⁾가 감자 및 각종 식물조직에 대하여 시험한 결과와 유사한 것이다. 死體조직의 氷點은 Raoult⁽⁶⁾등이 설명한 용액 상태인 시료의 경우와 같이 조직 성분중 가용성 고형분의 mole 농도에 따라 결정되는 것으로 생각되며 生體조직의 경우는 생체조직 특성에 따라 凍結 耐性이 높아진 것으로 사료된다.

貯藏溫度 降下와 呼吸率 變化

저장온도의 강하와 鱗片의 呼吸率 變化를 조사한 결과는 Table 2와 같이 -4°C까지는 溫度 하강에 따라 呼吸率이 낮아지는 현상을 보였으며 각 저장온도 범위별 Q₁₀값은 -4.0~5.0°C에서는 2, 5~15°C에서는 3, 15~37°C에서는 1.2였다. 그리고 저장온도 조건에 따른 호흡율의 경시적 變化를 조사하였던 바 그 결과는 Fig. 3과 같이 모든 試驗區에서 저장기간이 경과함에 따라 呼吸率은 증가하는 傾向을 보이고 있으나 그 중에도 -4°C 처리구가 가장 낮은 경향을 보여주고 있다.

Table 2. The respiration rate and the Q₁₀ value of garlic bulbs at various storage temperatures

Temperature (°C)	Respiration rate (mg CO ₂ /kg hr)	Q ₁₀ value
-4.0	1.5 - 2.0	
0	2.3 - 5.0	
5	4.3 - 4.3	2(-4.0 - 5°C)
15	8.3 - 12.8	3(5 - 15°C)
25	9.8 - 13.3	1.2(15 - 37°C)
37	14.2 - 14.8	

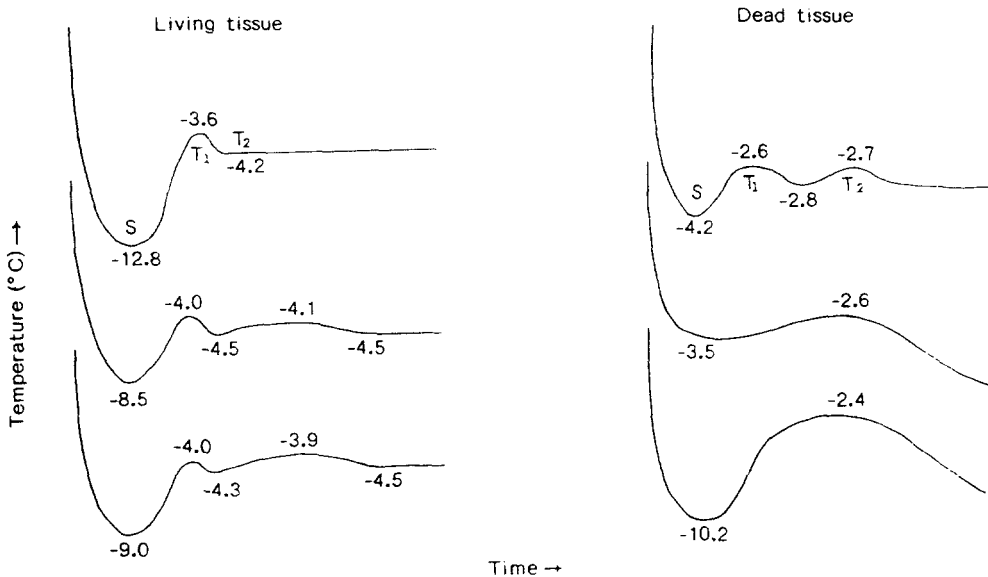


Fig. 2. Time-temperature cooling curve for garlic tissue.

- S: super cooling point
- T₁: initial freezing point
- T₂: second freezing point

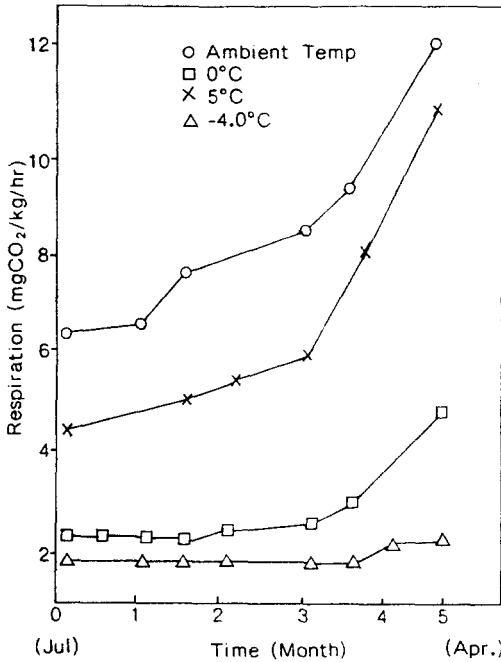


Fig. 3. Changes in respiration rate during the storage time(Jul. '84-Apr. '85).

이상의 결과로 마늘의 흡수생리는 영점 근접 온도에서 이상호흡 현상없이 호흡억제 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

零下 溫度 범위에서의 凍結致死率 조사

마늘의 freezing point 와 super cooling point 은 도범위인 -4°C ~ -15.6°C 사이를 5개 시험구로 나누어 마늘 인편을 48시간 보관한 후 동결 致死한 鱗片率을 조사하였던 바 Table 3과 같이 -4°C에서는 동결치사 현상이 전혀 발생하지 않았으나 -6.5°C의 저장고에서는 약간의 동결 치사율을 보였으며 -9.5°C, -12.5°C, -15.5°C구에서는 상당히 많은 양의 致死率을 보였다. 이상의 결과에서 동결치사 임계온도로 보여지는 -6.5°C에의 치사현상을 보다 정밀히 확인하기 위하여 방치기간에 따른 致死率의 變化를 조사한 결과 Table 4와 같이 방치기간이 길어질수록 致死率은 다소 증가함을 알 수 있었다. 그러나 장기간(20일) 저장시 상당량의 凍害는 발생하였으나 80%이상 대부분의 인편은 건전한 상태를 유지하였으므로 마늘의 인편은 -6°C가 동결장애 발생의 임계온도임을 알 수 있었다. 따라서 마늘 조직

Table 3. Freezing lethality* of garlic tissue at various storage temp. for 48 hrs

Growing area	Storing temp.(°C)				
	-4.0	-6.5	-9.5	-12.5	-15.5
Yeosu	0	0	5.6	23.1	72.2
Muan	0	0	2.2	4.7	90.7
Namweon	0	0	3.3	3.0	44.9
Euseong	0	0	1.5	4.3	94.7
Seosan	0	1.7	2.2	10.9	77.3
Suweon	0	0	3.8	9.6	80.4

* Freezing lethality was expressed as percent cloves with color changed to brown within 2 days at room temperature

Table 4. The freezing lethality* of garlic during storage at -6.5°C

Growing area	Storage time (days)	
	5	20
Yeosu	8.2	18.4
Muan	0	0
Namweon	0	3.3
Euseong	6.6	9.7
Seosan	2.7	9.2
Suweon	1.2	4.8

* Freezing lethality was expressed as percent with color changed to brown within 2 days at room temperature

은 짧은 기간 氷點이하 溫度에 노출되더라도 동해가 발생하지 않는 강한 耐寒性을 가지고 있음을 알 수 있었다. 이는 마늘 조직이 氷點 이하에서 過冷却 狀態로 상당한 기간 유지될 수 있음을 보여주는 것으로 생각된다.

요 약

生體 마늘의 영하 조건에서의 저장 가능성을 검토하기 위하여 생체 인편에 대한 耐寒特性을 조사한 결과 마늘 인편의 빙점은 -4~-5°C로 산지별로 차이가 크지 않았으나 수확 후 처리 조건 및 저장 기간의 경과에 따라 다소 차이를 보여 豫乾前 -3.5°C, 豫乾後 -4.5°C, 저장 5개월 후 -5.5°C로 나타났다. 그러나 동결치사한 마늘 인편의 氷點은 -2.5°C로 生體組織에 비하여 높았다. 生體마늘을 -4~-15°C사이의 5개 貯藏庫에서 凍結致死率을 調査하였던 바 -4°C구에서는 0%, -6.5°C구에서

는 건전率 80% 致死率 20%였으며 -15°C 구에서는 70%의 致死率을 나타내고 있어 生體마늘의 凍結致死 임계온도는 -6.0°C 정도로 판단되었다.

貯藏溫度 條件에 따른 호흡률의 변화는 溫度 하강(-4°C 까지)에 따라 감소하는 경향을 보였고 Q_{10} 값은 $-4.0\sim 5.0^{\circ}\text{C}$ 범위에서 2, $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 에서 3, $15\sim 37^{\circ}\text{C}$ 에서 1.2를 보였다. 기존의 저온 저장 조건으로 제시된 ASHRAE의 0°C , 75% RH, 빙점 -0.8°C 는 한국산 마늘의 경우 재검토되어야 할 것으로 사료된다.

문 헌

- Mohsenin, N.N. : *Thermal Properties of Foods and agricultural materials*, Gordon and breach, Science publishers, Inc., New York, p.302(1980)
- Meryman, H.T. : *Cryobiology*, Academic Press, London, p.496(1966)
- Levitt, J. : *Responses of Plants to Environmental Stress*, Academic Press, London, p.25(1972)
- Meryman, H.T. : *Cryobiology*, Academic Press, London, p.565(1966)
- 緒方邦安(編) : 青果保藏汎論, 建帛社, p.210(1977)
- Fennema, O.R., Powrie, W.D. and Marth, E.H. : *Low-temp. preservation of Foods and Living Matter*, Marcel Dekker, New York, p.121(1973)
- Weiser, C.J. : Cold resistance and acclimation in woody plants, *Hort Science*, 5(5), 3(1970)
- Hendershott, C.H. : The responses of orange trees and fruits to freezing temperature, *American Society Hortic. Sci.*, 80, 247(1962)
- Levitt, J. : *Responses of Plants to Environmental Stress*, Academic Press, London, p.169(1972)
- Iljin W.S. : The relation of cell sap concentration to cold resistance in plant, *Bull. Ass. Russe Rech. Sci. Prague, Sect. Sci. Nat. Math.* 13(8), 33(1935)
- Young, F.E. : D-glucose-water phase diagram, *J. Phys. Chem.*, 61, 616(1957)
- Smith, D. and Grotelueschen, R.D. : Carbohydrates in grasses I. Sugar and fructosan composition of the stem bases of several northern-adapted grasses at seed maturity, *Crop Science*, 6, 263(1966)
- Levitt, J. : Effects of a typical increases in sugar content on frost hardiness, *Plant Physiology*, 34, 401(1959)
- Levitt, J. : The role of all cell sap concentration in frost hardiness, *Plant Physiology*, 32, 237(1957)
- Lovelock, J.E. : The mechanism of the protective action of glycerol against haemolysis of freezing and thawing, *Biochem. Biophys. Acta.*, 11, 28(1953)
- Sakai, A. and Yoshida, S. : The role of sugar and related components in variation of freezing resistance, *Cryobiology*, 5(3), 160(1968)
- Farrant, J. : Is there a common mechanism of protection of living cells by polyvinylpyrrolidone and glycerol during freezing, *Nature*, 222, 1175(1969)
- Lovelock, J.E., Bishop, M.W.H. : Prevention of freezing damage to living cells by dimethyl sulphoxide. *Nature*, 183(4692), 1394(1959)
- Lapins, K. : Artificial freezing as a routine test of cold hardiness of young apple seedlings, *American Soc. Hortic. Sci.*, 31, 26(1963)
- A.S.H.R.A.E. : *Hand book and Product directory*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., New York, Chapter 29, p.29. 1(1977)
- 緒方邦安(編) : 青果保藏汎論, 建帛社, p.168 (1973)
- 표현구, 이병일 : 수확후의 마늘의 생리생태에 관한 기초연구, 한국원예학회지, 14, 25(1973)
- Isao Hatakeyama : Relation between the freezing point and the cold hardiness of plant tissue, *memories of the college of science*, University of Kyoto, Series 13, No. 3, Article 11(Biology)(1961)

(1987년 10월 31일 접수)