

食塩による Dough の発酵促進作用とその機構

豊崎 俊幸

香蘭女子短期大学食物栄養学科

概要 製パンにおける生地発酵時に食塩の存在がきわめて重要であり、結果として焼成後の良し悪しに大きな影響を及ぼしている興味ある知見を得た。しかし、食塩が生地発酵段階での効果あるいは機構で進行しているものなのかは不明であり、併せ焼成時におけるパンのもつ風味やテクスチャーと食塩との関係についても不明であることから、これらの点について様々な角度から検討を加えた。生地発酵時間 50 分までの膨張率は食塩無添加の生地の場合は最大 18% に止まった。一方、食塩 2.0% 添加生地の場合 30 分で 96% の膨張率を示した。また、食塩 8.0% 添加した場合 20 分で最大 58% の膨張率を示した。また、パン酵母による脂質過酸化反応が誘発されていることも確認した。この脂質過酸化反応の誘導は、パン酵母によるものであるが、その引き金は食塩であった。脂質過酸化反応の誘導によって生成されたヒドロペルオキシドが、生地の膨張現象に何らかの関与をしていることも明らかとなった。これらの結果から、食塩が生地の発酵現象とどのような関わり合いがあるのかを考察した。食塩の存在により次の現象を誘発するものと考えた。1) 食塩によりグリアジンとグルテリンとの架橋構造を増幅させることによりグルテン含有量が増加する。2) パン酵母により脂質過酸化反応が誘発されるが、その引き金は食塩であり、脂質過酸化により生成されるヒドロペルオキシドにより生地の発酵が促進され、結果として生地の膨張率が増強されるものと推察した。

焼成したパンに関しての官能検査を実施した結果、食塩 2.0% 添加生地により製造したパンが、最も高い 4.17 の総合評価を得た。一方、食塩無添加で作成したパンは、総合評価が最も低い 0.58 の結果が得られた。食塩 8.0% 添加生地で作成したパンに関しては、総合評価は 2.89 であった。塩味が強く感じられたことによるものと推察された。これらの成果が製パン業界に新たな提起ができるものと考えられる。

本研究に於いて食塩の持つ新しい化学的特性が明らかとなった。食塩はパン生地の発酵時にグルテン形成能を増強させた。併せパン酵母の誘導による脂質過酸化反応を誘発することでヒドロペルオキシドが生成される。生成されたヒドロペルオキシドにより生地の発酵を促進させることが明らかとなった。しかし、生地発酵時の食塩分子がグルテン形成にどのような関わり合いをもっているのか、さらに、食塩濃度の違いによる脂質に対する抗酸化作用と酸化促進作用との化学的二面性の効果については今後詳細に追跡する必要がある。

1. 研究目的

食品科学分野では、一般に食塩は食品の嗜好性を左右する風味はもちろんのこと、食物の形態や物性などを左右する重要なミネラルであり、すでに食塩のもつ様々な特性については古くから多くの優れた報告がある¹⁾⁻¹⁴⁾。

著者はパン生地の発酵時に食塩を添加すると、パン生地の発酵が促進される興味ある若干の知見が得られた。この現象は食塩のもつ新しい化学的特性の知見が得られ

ることを示唆するものである。

一般に食塩は製パン製造に必要不可欠な副材料として、ごく当たり前の事のように利用されてきた。しかし、製パン製造における食塩がもつ化学的特性についてはほとんど解明されていないのが現状である。著者は、製パン時に添加される食塩が持つ実際の意味について明らかにすることを主目的として検討してきた結果、パン発酵時に食塩の存在がきわめて重要であることをつきとめた。しかし、

この現象がどのような機構で進行しているものなのかは不明であり、さらに焼成後におけるパンのもつ風味やテクスチャーと食塩との関係についても不明であることから、これらの点について様々な角度から詳細に検討を加えた結果、若干の興味ある知見が得られたのでそれらの結果について報告する。

2. 研究方法

2.1 パン生地の調整

パン生地の調整に用いた材料はすべて市販されているものを用いた。食塩の添加濃度は 2.0% および 8.0% とした。また、リノール酸ヒドロペルオキシドの添加濃度は 0-100 mM 濃度範囲とした。パン酵母は市販の生イーストを用いた。また、パン酵母は 0-10% の添加割合で調整した。直捏法に準じて、全ての材料を混合した後、37℃、湿度 75-80% での恒温装置内で一次発酵させた。発酵後、ガス抜きをし、10 分のベンチタイム、90 分の最終発酵後、200℃で 12 分焼成した。

2.2 リノール酸ヒドロペルオキシドの調整

リノール酸ヒドロペルオキシドは Matsuda らの方法¹⁵⁾に準じて調整した。

2.3 生地中のヒドロペルオキシドの測定

生地中のヒドロペルオキシドは Mercier らの方法¹⁶⁾に準じて測定した。

2.4 生地の膨張率の測定

発酵にともなう生地の膨張率は、メスシリンダーに一定量の生地を入れ、恒温庫内(温度 30℃、湿度 75%)で発酵させ、一定時間ごとの膨張率を測定した。

2.5 官能検査

食塩添加割合の異なる 4 種類(NaCl-free, 0.1%, 2.0%, 8.0%)の生地を焼成したパンに関して、短大生 50 名を対照として、オープン法による官能検査を実施した。

3. 結果および考察

3.1 生地の膨張率におよぼす食塩添加割合の影響

食塩濃度が、生地の発酵とどのような関係があるのかを検討するために、異なる食塩添加割合の生地を調整した後、一定湿度、温度下で発酵させ、その時の膨張率を測定した結果を Fig. 1 に示した。発酵時間 50 分までの生地の膨張率は食塩無添加の生地の場合、最大 18% に止ま

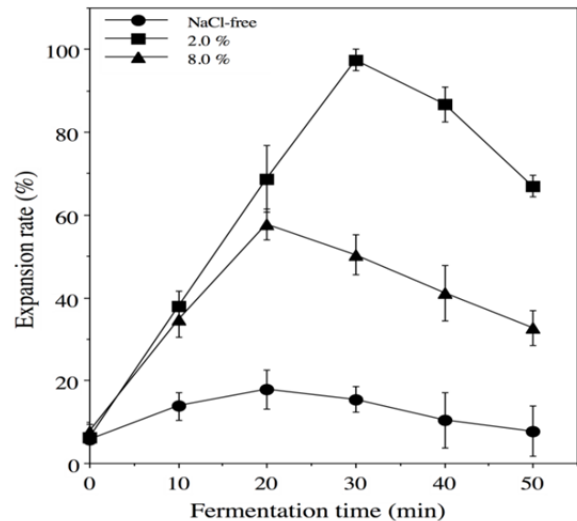


Fig. 1. Changes in the expansion rate with the fermentation of dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

った。いっぽう、食塩 2.0% 添加生地の場合、30 分で 96% の膨張率を示した。また、食塩 8.0% 添加した場合 20 分で最大 58% の膨張率を示した。この結果から、本実験系では、製パンにおける食塩添加割合のベストコンディションは 2.0% であることが明らかとなった。

3.2 発酵に伴う脂質過酸化反応の誘導とヒドロペルオキシドの生成

食塩添加による生地の発酵に伴う現象として、パン酵母による脂質過酸化反応が誘発されていることを確認していることから、実験条件を Fig. 1 と同様に構築し、その時のヒドロペルオキシドを測定した結果を Fig. 2 に示した。食塩無添加の場合、50 分の発酵時間内で、脂質過酸化反応にともなうヒドロペルオキシドは最大で 11% であるが、食塩 2.0% 添加生地の場合、40 分の発酵時間で 94 mM の最大値を示した。いっぽう、食塩 8.0% 添加生地の場合、最大 32 mM の生成量を示した。この結果から、生地の膨張現象は、添加した酵母による脂質過酸化反応により生成されたヒドロペルオキシドが、生地の膨張現象に何らかの関与をしていることが明らかとなった。脂質過酸化反応によるヒドロペルオキシドが、生地発酵現象に何らかのかたちで関与していることから、この点について詳細に検討した。予めリノール酸で作成した過酸化物を利用して、過酸化物量と膨張率との関係を検討した結果、添加過酸化物量

が増加するとともに、生地膨張率は増加する傾向を示した。特に食塩 2.0% 添加生地の場合、100 mM の過酸化水素添加で生地膨張率は 90% を示した (Fig. 3)。

3.3 食塩量に対するヒドロペルオキシドと生地膨張率との関係

食塩が生地発酵にどのような関わりを持っているのかを検討した結果を Fig. 4 に示した。食塩 2.0% で、生成された

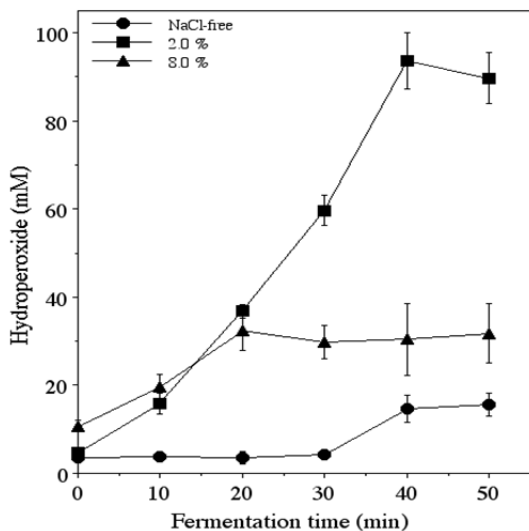


Fig. 2. Changes in the amount of hydroperoxide produced with the fermentation of dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

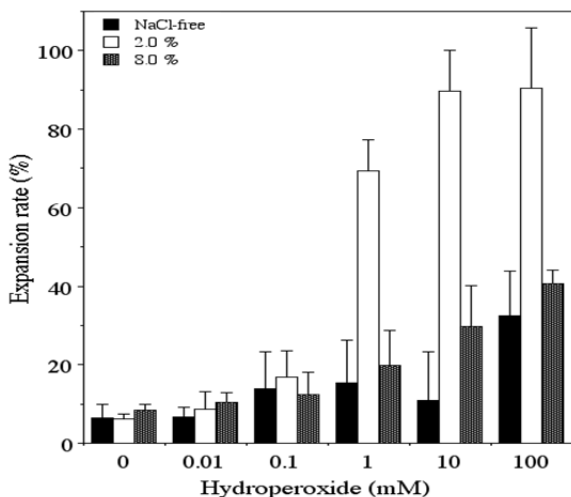


Fig. 3. Changes of expansion rate on the amount of hydroperoxide produced in dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

ヒドロペルオキシドは最大値を示し、その時の生地膨張率も最大値を示した。すなわち、生地の発酵にともなって生成されたヒドロペルオキシドが、生地の膨張を誘発することで引き起こされたことが推察された。またその現象は、食塩添加濃度により左右されていることが明らかとなった。パン酵母により誘発されたことにより生成されたヒドロペルオキシドが、生地の膨張率を増加させているならば、パン酵母の添加量の差により、生地の膨張率に影響を及ぼしているものと推察されることから、この点について詳細に検討した。

3.4 パン酵母量に対する生地の膨張率の変化

食塩添加割合の異なる生地を用いて、パン酵母の添加割合を 0-8.0% の範囲内で変化させた時のそれぞれの生地の膨張率について測定した結果を Fig. 5 に示した。パン酵母添加量の増加とともに、生地の膨張率は増加した。とくに食塩 2.0% 添加生地の場合、添加したパン酵母 6.0-8.0% で 90% の膨張率を示した。その時のヒドロペルオキシドについて測定した結果を Fig. 6 に示した。生地の膨張とともに増加する傾向が確認された。とくに食塩 2.0% 添加生地の場合、パン酵母添加量 4.0-8.0% の範囲でヒドロペルオキシドは 70 mM 以上生成された。そこで、パン酵母に対するヒドロペルオキシドと生地の膨張率との関係について検討した結果、パン酵母 6.0-10.0% の範囲で過酸化水素量が増加し、それにともなって生地の膨張率も増加することが明らかとなった (Fig. 7)。

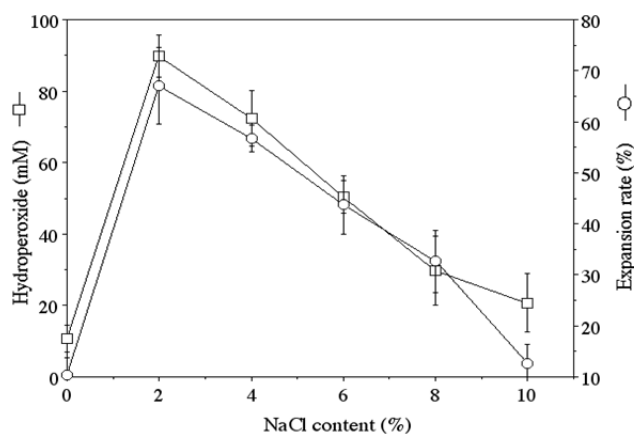


Fig. 4. Relationship between the hydroperoxide and expansion rate on the NaCl concentration of dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

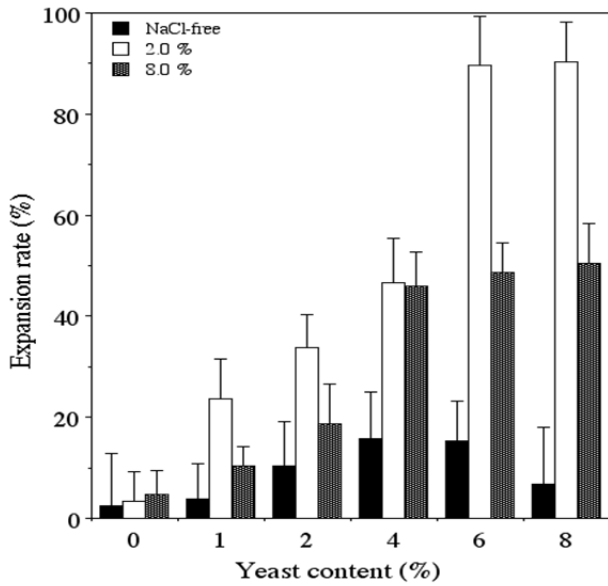


Fig. 5. Effect of yeast contents on the rate of dough expansion. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

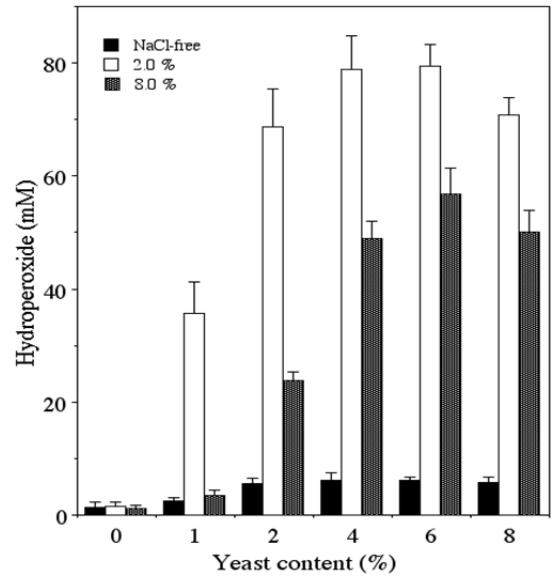


Fig. 6. Effect of yeast contents on the amount of hydroperoxide produced in dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

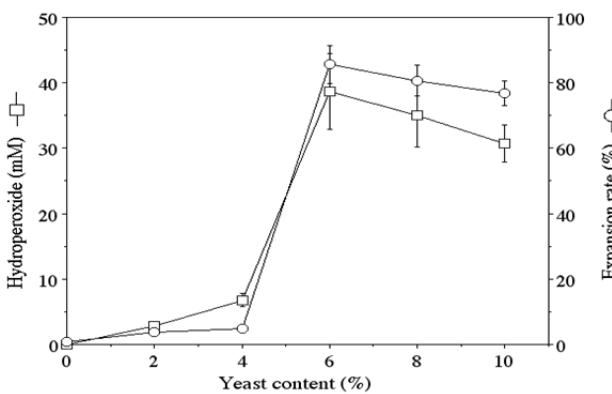


Fig. 7. Relationship between the hydroperoxide and expansion rate on the yeast contents in dough. Each value represents the mean \pm standard error in triplicate.

3.5 食塩によるパン生地の膨張促進作用機序

食塩が生地の膨張現象とどのような関わり合いがあるのかを考察した (Fig. 8)。食塩の存在により次の現象が進行する。1) 食塩によりグリアジンとグルテリンとの架橋構造を増幅させることによりグルテン含有量が増加する。2) パン酵母により脂質過酸化反応が誘発されることによりヒドロペルオキシドが生成される。著者は食塩による脂質の抗酸化効果を確認¹⁴⁾していることから、おそらく食塩含有量の

多少の差により、抗酸化的に作用する場合と、逆に酸化促進的に作用していることも考えられる。本研究では食塩添加量の 2.0%では脂質過酸化反応を誘発したが、食塩添加量 8.0%では抗酸化作用により、ヒドロペルオキシドの生成が抑制された可能性が考えられる。いずれにしても、食塩添加量 2.0%では、発酵により生成されたヒドロペルオキシドが生地の膨張を促進させることで、結果として滑らかな生地が作成されたことが推察できた。

3.6 異なる食塩添加割合で調整・焼成したパンの官能検査

焼成したパンに関しての官能検査を実施した結果 (Table 1)、食塩 2.0%添加生地により製造したパンが、最も高い 4.17 の総合評価を得た。いっぽう、食塩無添加で作成したパンは、総合評価が最も低い 0.58 の結果が得られた。食塩 8.0%添加生地で作成したパンに関しては、総合評価は 2.89 であった。塩味が強く感じられたことによるものと推察された。

これらの結果から、製パンにおける食塩の持つ化学的機能性について、若干の新しい知見が得られた。この成果が製パン業界に新たなる提起できるものと考えられる。

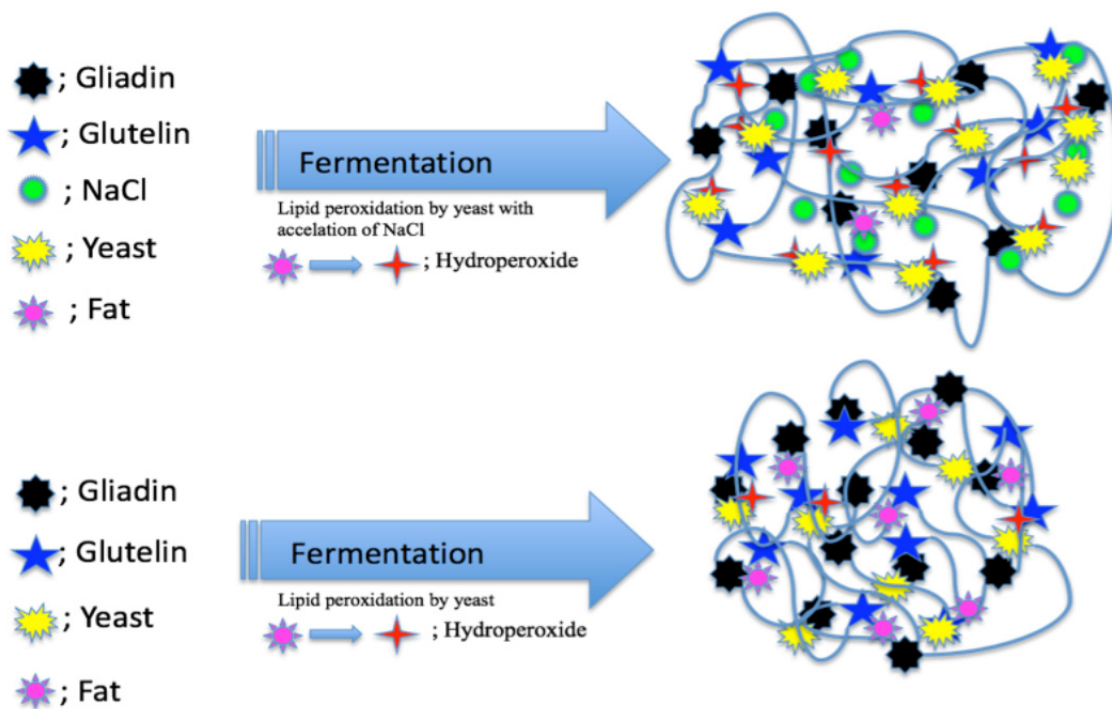


Fig. 8. The mechanism by which NaCl accelerate fermentation.

Table 1. Organoleptic evaluation

NaCl content(%) \ Item	Conformation	Flavor	Taste	Saltiness	Texture	Overall judgement
NaCl-free	1.28	2.33	2.57	0	3.81	0.58
0.1	1.26	2.46	2.49	0	3.59	1.93
2.0	1.29	2.08	2.19	0.2	3.74	4.17
8.0	1.23	3.61	2.04	0.4	2.73	2.89

4. 今後の課題

本研究に於いて食塩の持つ新しい化学的特性が明らかとなった。食塩はパン生地の発酵時にグルテン形成能を増強させた。併せパン酵母の誘導による脂質過酸化反応を誘発することでヒドロペルオキシドが生成される。生成されたヒドロペルオキシドにより生地の発酵を促進させることが明らかとなった。しかし、生地発酵時の食塩分子がグルテン形成にどのような関わり合いをもっているのか、さらに、食塩濃度の違いによる脂質に対する抗酸化作用と酸化促進作用との化学的二面性の効果については今後詳細に追跡する必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ご援助賜りました公益財団法人ソルト・サイエンス研究財団に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Cardoso SM, Mafra I, Reis A, Georget DMR, Smith AC, Waidron KW and Coimbra MA, Effect of dry-salt processing on the textural properties and cell wall polysaccharides of cv. Thasos black olives. *J Sci Food Agric* 88: 2079-2086 (2008).
- 2) Gou PJ, Comaposada J and Arnau J, NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Gluteus

- medus muscle of pork ham. *Meat Science* 63: 29-34 (2003).
- 3) Ishikawa K, Sigimoto M, Kumagai M and Matsunaga R, Evaluation of taste properties of commercially available salts. *Int J Soc Mater Eng Resour* 13: 29-34 (2006).
 - 4) Kuda T, Mihara T and Yano T, Detection of histamine and histamine-related bacteria in fish-nukazuke, a salted and fermented fish with rice-bran, by simple colorimetric microplate assay. *Food Control* 18: 677-681 (2007).
 - 5) Murphy A, Buckley J and Gray I, The antioxidative properties of rosemary oleoresin and inhibition of off-flavors in precooked roast beef slices. *J Sci Food Agric* 77: 235-243 (1998).
 - 6) Rowe CW, Pohlan FW, Brown Jr AH, Johnson ZB, Whiting SH and Galloway DL, Effects of conjugated linoleic acid, salt, and sodium tripolyphosphate on physical, sensory, and instrumental color characteristics of beef striploins. *J Food Sci* 74: 36-43 (2009).
 - 7) Shigematsu T, Ueno S, Tsuchida Y, Hayashi M, Okonogi H, Masaki H and Fujii T, Comparative analyses of viable bacterial counts in foods and seawater under microplate based liquid- and conventional agar plate cultivation: increased culturability of marine bacteria under liquid cultivation. *Biosci Biotechnol Biochem* 71: 3093-3097 (2007).
 - 8) Sofos JN, Effects of reduced salt (NaCl) levels on the stability of frankfurters. *J Food Sci* 48:1684-1691(1983).
 - 9) Thammarat K, Soottawat B and Wonnop V, Effects of salting processes and time on the chemical composition, textural properties, and microstructure of cooked duck egg. *J Food Sci* 76: 139-147 (2011).
 - 10) Toyosaki T, Sakane Y and Koketsu M, Effects of addition of salt to bread on IgE antibody response. *Food Agric Immunol* 17: 149-156 (2006).
 - 11) Toyosaki T and Sakane Y, Antioxidant Effect of NaCl on the aqueous solution, emulsified, and enzymic lipid oxidation. *Bull Soc Sea Water Sci Jpn* 56: 10-16 (2002).
 - 12) Ukai T, Matsumura Y and Urade R, Disaggregation and reaggregation of gluten proteins by sodium chloride. *J Agric Food Chem* 56: 1122-1130 (2008).
 - 13) Vardhanabhuti B and Foegeding EA, Effects of dextran sulfate, NaCl, and initial protein concentration on thermal stability of β -lactoglobulin and α -lactalbumin at neutral pH. *Food Hydrocolloids* 22: 752-762 (2008).
 - 14) Wang Z, Xu Y, Zhang J, Li X and Ma C, Proteolysis protein oxidation and protease activity in dry-cured Xuanwei ham during the salting stages. *Inter J Food Sci Technol* 46: 1370-1377 (2011).
 - 15) Matsuda H, Yasumoto K and Iwami K, Crystallization and positional specificity of hydroperoxidation of fusarium lipoyxygenase. *Biochem Biophys Acta* 530: 439-450 (1978).
 - 16) Mercier M and Gelinas P, Effect of lipid oxidation on dough bleaching. *Cereal Chem* 78: 36-38 (2001).

Effects of NaCl on Dough Fermentation

Toshiyuki Toyosaki

Koran Women's Junior College, Department of Food and Nutrition

Summary

In bread making, the presence of salt in the fermentation process is of great importance. A few interesting findings have suggested that salt greatly influences the success or failure of the baked bread. However, the effects of salt on the dough fermentation process and its mechanism of action are unknown. The relationships between salt and the bread's flavor and texture in the baking process are also yet to be established. Therefore, we conducted a thorough investigation of these issues from various angles. The dough expansion rate with no salt reached a maximum of 18% in the 50 min dough fermentation time. In contrast, dough with 2.0% salt reached an expansion rate of 96% in 30 minutes of fermentation. Furthermore, the maximum dough expansion rate with 8.0% salt was 58% in 20 min. Lipid peroxidation catalyzed by baker's yeast was observed in the dough fermentation process following the addition of salt. Although the baker's yeast catalyzed lipid peroxidation salt triggered the reaction. The hydroperoxide produced in the induced lipid peroxidation reaction was found to play an unspecified role in the expansion phenomenon of dough. Based on these findings, we examined how salt is associated with the dough fermentation phenomenon. We hypothesized that the presence of salt would induce the following two chemical phenomena: 1) Salt enhances cross-linkages between gliadin and glutelin, which in turn leads to increased gluten content. 2) While baker's yeast catalyzes lipid peroxidation, salt potentiates this reaction. We speculated that hydroperoxide, produced in lipid peroxidation, would accelerate the dough fermentation process, thereby resulting in a higher dough expansion rate. A sensory test of the dough samples after baking showed the highest overall rating of 4.17 in the bread made of dough with 2.0% salt. On the other hand, the bread made from dough with no salt had the lowest overall rating of 0.58. The bread made of dough with 8.0% salt had an overall rating of 2.89. This rating may have been the result of a strong salty taste. These results revealed some new findings in the biochemical effects of salt in bread making, which could break new ground in the bread-making industry.