ケーキ類の照射

大阪府立放射線中央研究所 砂田 毅・木下商策・加藤智雄

Irradiation of Castilla (baked cake)

Tsuyoshi SUNADA, Shosaku KINOSHITA and Norio KATO

Division of Sanitary Engineering, Radiation Center
of Osaka Prefecture

Commercially produced castilla which is a kind of cake baked of the mixture of refined flour, sugar, maltose and chicken eggs becomes to have plenty of growth of moulds at the end of about twenty days preservation at room temperature after production. To attempt the prolongation of its storage life at room temperature, gamma irradiation was applied to them. Optimum dose without unacceptable changes in its flavor and taste was found to be in the range of 300-500 Krad for the commercially produced cakes. By administration of this dosage, the cakes could be preserved for forty days at room temperature without any visual growth of moulds. Decoloration occurred with the increase of dosage, but the color of the cakes of irradiated at 300 Krad dose was acceptable. No significant differences between the growth rate and feed consumption of mice fed with cakes irradiated at 500 Krad at a level of 90% in the basic diet and mice fed with unirradiated diet were observed in three months feeding studies. Separated moulds which grew on the surfaces of commercially produced cakes and identified to be in the groups of Penicillium, Aspergillus and Cladosporium were inoculated artificially in varied concentration on the hollowed surface of cakes, packaged, irradiated at varied dose and then preserved at room temperature for varied period. By this in vivo test, it was found that preservation periods of irradiated cakes could be predicted by the relation of the concentration of moulds before and after irradiation and the irradiation doses. On the other hand, to avoid practical unexpected contamination, sanitary conditions of the manufacturing

factories were inspected. As a result, fingers of two female operators packaging the cakes were found to be contaminated of plenty of bacteria and moulds. Recommendation to enforce frequent hand-washing or wearing clean hand-gloves was given to the maker, because the dose required to radurisation of the products depends on the pre-irradiation contamination of them.

野菜、果実、穀類、肉等の食品原材料あるいは小麦粉等の1次加工食品を放射線照射してその保存期間の延長を図る試みは多く報告されているが、これら食品材料を組合せて作られた2次加工食品についての照射保存に関する報告は少ない。これは、観察の順序からしてまず原材料に対する照射効果を観察しておくことによって基本的な知見を得、これらの積み重ねにより組合せたものに対する効果がある程度予測され得ることが期待されることの他、食品照射を実用化する上でまず最も消費量の多い食品原材料を対象とすることが得策であり、また先行技術のデータが揃っていることの安心感もあるからであろう。2次加工食品の照射保存に関する報告が少ないのは、必ずしもその試みが少ないということではなく、試みられたが失敗に終わった例が多かったのかも知れない。今回はこの2次加工食品に対する照射保存の試みとしてケーキ類を対象とした場合の結果を報告する。

baked cake は精製小麦粉と鶏卵と砂糖を主成分とし、これを練り合わせてオーブンで焼いた食品であるが、軟いもの、あるいは加熱温度の低いものまたは加熱時間の短いものほど日持ちが悪く、ある期間を経過するとカビを生じて美感と風味を損ってう。このbaked cakeのうち今回はその1例としていわゆるカステラを取り上げてみた。

カステラは以前から国民に嗜好されてきた栄養価の高い食品で、今日なおその風味を愛されているが、このものは製造後暫くすると(温湿環境によって多少の変動はあるが平均すると約20日後)カビを生じてそれと共に匂い味共に劣化してう。それを防止するためには、製造工程を全自動化し微生物混入を防ぐか、オーブンから取出して仕分けをしてから再び加熱して加工時の汚染微生物を殺すか、あるいは缶詰法によるか、カビに対して効果のある保存料を添加するかである。第1の方法は理想的であるが業態上実施できない。第2、第3の方法は風味の低品位化を招き、元のカステラと似て非なる別のケーキとなってう。第4の方法はケーキ類の保存料としてプロピオン酸のNa塩あるいはK酸がその添加量を限って添加を許可されているが、これらはカビ成育の防止には役立たない。従って、これらの方法と異なる他の方法が保存延長の手段として望まれているのが現状だが、ここに放射線照射を適用してみた結果の概略を以下に述べる。

I 照射前の汚染

放射線照射により食品を汚染している微生物をコントロールする際の必要な線量は、最終の微生物濃度を少なくするには初めの濃度が低いほど少なくて済むから、照射の対象となる食品の微生物濃度を極力低くしておくことが望ましいわけである。市販のカステラがどれほどの汚染状態にあるかを知ることはそれだから重要である。市販品を製造直後に入手してこれを開封し、その表層、中央部の各点1gを採取し、これを無菌水に浸漬し、この試料水をサブロー培地に加えて25℃10日間培養し、その菌数を調べたと

ころ、最大15個という結果を得た。生育したカビおよび20日以上放置して後開封したとき生じてきたカビには、白カビ、黄カビ、青カビおよび黒カビがみられ、白カビは*Aspergillus*属、黄カビは*Aspergillus flavus*群、青カビは*Penicillium*属、黒カビは*Cladosporium*属のものと同定された。カステラは砂糖をその重量比で $\frac{1}{2}$ 以上も含んでおり、更にオープンで140℃程度の加熱を受けているから、その後の処理の際の汚染カビが保存中に生育してくるものと考えられる。

II 照射品の殺菌状態

小麦粉17%、砂糖36%、鶏卵36%、その他11%からなる原料を混和しオープンで焼いた後、所定寸法に切って仕分け包装された商品を製造直後に入手し、これを無菌的にアルミ фольで包装して、種々の線量宛0-60からのガンマ線で線量率0.5 Mrad/hrにして照射し、その後室温(23℃~40℃)に放置し、20日後、30日後、あるいは40日後にこれを開いてカビ発生の状態を観察した。判定は肉眼でコロニーを観察するものと、サブロー培地に所定日数保存した材料の表層、中間層を取って培養(25℃、7日)するものとの2法によった。結果をTable 1に示す。菌数は食品1g当りのものである

Table 1. Results of gamma radurisation of commercially produced castilla (baked cake)

Postirradiation storage (days)		Organisms survived					
		Irradiation dose (Mrad)					
		0	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
0	Growth Counts*	- < 15	- < 15	- < 15	- < 15	- < 15	- < 15
20	Growth Counts*	+ abundant	- 105	- 20	- < 10	- < 10	- < 10
30	Growth Counts*	++ abundant	± 400	- < 15	- < 10	- < 10	- < 10
40	Growth Counts*	+++ abundant	+ abundant	- 200	- < 10	- < 10	- < 10

* germ counts per 1 gram of cake with Sabouraud agar media

る。照射を施さない品は20日後にカビ発生を肉眼で認知できたが、照射品では0.2 Mrad 投与のものでは20日保存のものはまだ肉眼的にはカビ発生を認めなかった。しかし、40日保存するとカビ発生が認められた。0.3 Mrad 以上の照射品では40日間の保存でカビ発生が肉眼的に認められなかった。表には記載していないが、1 Mrad 照射したものは室温(23~40℃)保存55日を経過した後もカビの発生を認めなかった。

III 照射品の風味

照射品の風味を10人のパネルで5点法によって評価してみた。結果をTable 2に示す。表にみられるように0.3~0.5 Mrad 照射されたものは風味を損わずに40日保存できる。照射後3日までは特異な照射臭があり、そのため、4日以後に賞がんすることが望ましいし実際のである。非照射品および0.1 Mrad 照射品の20日以上保存したものの風味の劣化はカビ発生に因るものであり、0.7 Mrad 以上照射されたものの風味の劣化は放射線によるカステラの品質損傷に基因するものである。

Table 2. Taste panel scores of irradiated and unirradiated castilla (baked cake)

Postirradiation storage (days)	Average scores in 5-point hedonic scale					
	Irradiation dose (Mrad)					
	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
4	1.8	1.9	1.8	1.6	-1.0	-2.0
20	---	---	1.9	1.8	-1.0	-2.0
30	---	---	1.7	1.8	-1.3	-2.0
40	---	---	1.6	1.7	-1.6	-2.0

* unacceptable due to growth of moulds

IV 照射品の外観上の変化

カビ発生も美観を損う外観上の変化の1つであるが、照射された品自身の外観上の変化は肌目の点では見られなかったが、照射量の増加につれて色の変化が認められた。すなわち照射量の増加につれ初めの黄橙色が漸次褪色して汚穢色となり彩度は低下してゆく。しかしながら、0.3~0.5 Mrad 照射のものでは非照射のものと比較すればその色差は noticeable であったが、他と比較をしないで単独に見た色としては消費者に受入れられぬような汚穢色ではなく美しい色を保存していた。n-アミルアルコールを照射品の色抽出溶媒として使用し、移行した色を分光光度計で測定してみると453 mμに吸収のピークが認められたので、各線量照射したものをこの溶媒を使用して抽出した色の吸光度を比較してみると、0.3 Mradの照射のもので27%の減少、0.5 Mradで52%の減少がみられた。このような表現は実際の色変化を正しく示すものでないことは「色素の照射」で述べた通りだが、特定の色の褪色傾向からみると0.7~1.0 Mradの照射では吸収の低下が認められるに反して、0.3 Mradではそれほど大きい吸収低下はなく、これは肉眼による褪色傾向と概ね一致していた。

V 分離カビの放射線抵抗

カステラから分離したカビと対照として枯草菌を35%砂糖水に浮遊させ、これに種々の線量照射を試みたところ、カビの中では黒カビが最も放射線抵抗が大きく枯草菌に匹敵していた。ついで *in vivo* のテストを行なうべく各カビの1 ml 当り10, 100, 1000個のオーダーの35%砂糖水浮遊液を作り、この0.1 ml 宛カステラの表層に深さ10 mm, 径10 mmの半球径の凹みをつけた部分に滴加して後包装し、これを各線量照射した後、一定日数室温に保存してから開封し、肉眼でコロニーの生成状況を観察すると共にこの部分をえぐり取って菌数をサブロー培地を使用して測定した。但し黄カビにはツアベック培地を使用した。肉眼観察の結果をTable 3に示す。(表中で++の成績は生じたカビが凹部にとどまらずその他の部分にまで拡ったものを示してある。)このテストによってもやはり黒カビが放射線抵抗が大きい成績を示している。それでも1 ml 当り10個のオーダーのカビを0.1 ml 宛加えたものでは0.5 Mradの照射で40日の保存期間中陰性の成績を得た。実際の品物を照射した場合の保存効果と実験から得た結果を照合することにより、実態と同程度の汚染が存在する場合は0.3~0.5 Mradの線量を投与することによって十分保存延長効果を期待できることが判明した。

VI 毒性試験

照射されたカステラに毒性成分が生成されていないかという危惧があるから、この毒性試験を行なって

Table 3. Results of sterility tests on irradiated samples of inoculated castilla (baked cake)

Organism inoculated	Post irradiation storage (days)	Macroscopic growth* of organisms after irradiation of doses (Mrad) of											
		0			0.3			0.5			1.0		
		Order of number of organisms inoculated onto the surface of cakes											
		10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ⁰	10 ¹	10 ²
Yellow mould**	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	++	++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	+++	+++	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	-
	40	+++	+++	+++	-	-	+++	-	-	-	-	-	-
White mould	0	--	--	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	+++	+++	+++	-	++	++	-	-	-	-	-	-
	30	+++	+++	+++	-	++	++	-	-	-	-	-	-
	40	++	+++	+++	-	-	++	-	-	-	-	-	-
Blue mould	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	++	++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	+++	+++	+++	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	40	+++	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black mould	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	+	++	+++	+	++	+++	-	+	++	-	-	-
	30	+++	+++	+++	+	++	++	-	+	++	-	-	-
	40	+++	+++	+++	+	++	++	-	+	++	-	-	-

* (-) sterile, (+) slight growth, (++) moderate growth, (+++) growth over the inoculated hollow

** cultured with Czapek agar

みた。まず、0.5, 1あるいは10 Mrad 照射されたカステラの10gを磨砕し、これに水20mlを加えた場合の水溶性成分と、これにオリーブ油20mlを加えて抽出した油溶性成分をそれぞれ0.2ml宛ddo系およびNA-2系の雄マウス(生後6週, 体重平均20g)の腹腔内に毎日1回7日間注入してその急性毒性を観察してみた。対照としては照射しないカステラを同様に抽出した成分を投与した。いずれも3週の観察期間中に外観上の健康状態, 摂食状態, 体重増加傾向に異常な相違は認められず死亡もしなかった。

ついで、1 Mrad照射したカステラあるいは非照射カステラを標準固型飼料と9:1の割合に混ぜて生後4週体重16gのddo系およびNA-2系雄マウスに与えて3ヶ月その成長状態を観察してみた。対照のカステラを全く与えないで標準固形飼料のみを与えたものと外観上の健康状態, 体重増加, 尿処見に相違はみられなかった。

1 Mrad 照射したカステラだけを与えられたマウスは標準固形飼料を与えられたマウスに比べ体重増加の傾向は遅退したが, 照射されないカステラのみを与えられたマウスと比較するとその傾向に相違はみられなかった。

カステラのみを食餌とする場合は標準固型飼料を与えられた場合に比べ育成が遅れることは、カステラが完全食品ではないことを示しており、このものは元来主食ではなく間食と見做されまたそのような使用をされてきているが、間食としては極めて栄養価の高いものであることはマウスの生育状態を見ても理解できる。栄養価の照射による変動に対する観察の報告は別の機会に譲る。

VII 製造現場における衛生状態

前述のごとく照射必要量は初めの汚染濃度に依存するから製造現場の衛生状態を観察してみた。本文に直接関係のある部分のみを以下に述べる。屢々カビ発生をみるカステラの現在の処理法は、原材料を混合後オープンで焼き、これを取り出してから庖丁で所定寸法に切断して後包装箱詰にされる。これらの操作は無菌室で人手に直接触れずに行なわれているわけではなく、殊にオープンから取り出して後の操作中に汚染を招く可能性が大きい。処理現場における環境空气中に存在する微生物数と塵埃数とは必ずしも比例するものではないが、塵埃数は清浄さの1つの目安となるので、労研式塵埃計を使用して環境空气中の塵埃を採取し、暗視野280倍検鏡で計数してみた。その結果では、現場で最も多い処で空気1cc当り580個、少ない処で440個、工場周辺の道路上で450個であった。われわれが所属する研究所の一般実験室では330~500個と測定された。これらの結果からみて、塵埃数からみた限りではそう多い環境とはいえない。環境空气中微生物測定法としてはコッホ法による落下法を使用し、採取培地としては普通寒天平板とサブロー平板を用い、現場で5分間開放して後シャーレの蓋をして、前者は37℃48時間、後者は25℃7日間を培養条件としてコロニーを形成させその数を測定した。その結果によると、前者の培地で最も多い処(オープン室入口)で70、少ない処(カステラの貯蔵室)で3個、後者の培地では多い処で6個、少ない処で1個であった。われわれが所属する研究所の一般実験室では前者の培地で5個、後者の培地で1個位であったし、工場周辺の道路上で100個、サブロー培地で10個程度であったことからして、菌数としては清浄な食品作業場としてはやや多い環境に属するが、この程度の菌数は乾燥粉を取扱う食品作業場では屢々見られるものである。作業員の手指の汚染を観察するため、普通寒天平板培地およびサブロー平板培地に手指上の菌をスタンプ法で取って調べてみた。作業員の中で直接カステラに手指を触れる者の中、汚染の大きいものが包装に従事する婦人作業員にみられた。対照としてわれわれ研究スタッフの手指を調べてみたところ、食品を取扱わないのでして手指の汚染に意を払っていなかったが、偶然なのかやはり婦人スタッフが大きい汚染を示していた。この傾向がサンプルをもっと多くとっても見られるものなのかどうかは別問題として、手洗いあるいは手袋の励行が必要と考えられる。切断に使用する庖丁はカステラの粘りのため附着した断片を時折拭き取る必要があるもので、そのために布帛を使用していたが、これが使い捨てでなく何回も使用していた。このものを無菌水につけて菌数検査を行なってみたところ、直接庖丁に接触する部分の単位長(cm)当り普通寒天培地にコロニーを形成するもの791個、サブロー培地に生えるカビ数2個がみられた。これらの結果を総合してみると、最も注意を要するのは手指の汚染であり、このことは実際のカステラのカビ発生の苦情が出た品物に手指型のコロニーの散在がみられることが多いという実態と良く一致していた。従って、観察したような現場では主として手指の衛生を図ることによって汚染を極力低下させることが実際的と考えられた。

むすび

ケーキ類殊にbaked cakeの代表としてカステラを取り上げ、これが20日前後でカビ発生を招くのをCo-60からのガンマ線で0.3~0.5 Mrad照射することにより風味を低品位化させることなしに

その室温保存期間を約40日に延長させることができる。(これ以上保存を延長させることに余り意義はない。なぜなら、含有される糖分が重力沈降して品質を低下させるからである。)更に製造作業の衛生を今以上に図ることによってこの照射処理効果の確実性と再現性を維持することが肝要と考えられた。

終りに臨み、実験に使用した莫大の量のカステラを提供すると共に製造現場の環境調査に種々の便宜を提供して頂いた「大阪長崎堂」に深く感謝すると共に商品処理に新しいエネルギーの導入を図る積極的な姿勢に敬意を表する。