煙草の放射線照射

大阪府立放中研 砂田 毅, 加藤智雄, 木下商策

Irradiation on Tobacco

Tsuyoshi Sunada, Norio Kato and Shosaku Kinoshita

Division of Sanitary Engineering,
Radiation Center of Osaka Prefecture

For determining the feasibility of using irradiation in the preparation of tobacco, a preliminary study on irradiation of tobacco was attempted at our laboratory.

The results obtained are as follows:

- 1) Tobacco leaves in the drying process acquired good aroma of fermented or aged tobacco by irradiation at a dose of 1×10^6 rads of Co-60 γ -rays, whereas control unirradiated leaves had green-note smell of green leaves.
- 2) Tobacco flea beetles and tobacco moths and their larvae were killed in a dose less than 1.7×10^5 rads of γ -rays.
- 3) "Peace" (one of the representative brand of cigarette in Japan) irradiated in a dose of 1×10^6 rads of γ -rays was preferred after 3-4 weeks to unirradiated cigarette; many of panel members appealed that irradiated cigarette became milder than the control.
- 4) Bacterial plate count on the irradiated cigarette after one month storage in a show window case was only a few per piece, whereas that of the control of unirradiated cigarette was of the order of 2×10^4 per piece.
- 5) Reduction in concentration of nicotine in aqueous solution was observed by exposure of various doses of γ -irradiation, but nicotine content of irradiated cigarette was not significantly different from the control unirradiated cigarette. For the explanation of the difference between the results in vitro and in vivo, tobacco leaf was stained with Dragendorfs reagent and many red spots (nicotine) were found to localize which led to the assumption that nicotine in a leaf might be contained not diffusely but concentratedly.

No significant difference in nicotine contents of main stream of cigarette smoke between the cigarette irradiated in a dose of 1×10^6 rads and unirradiated cigarette was observed.

- 6) There was no significant difference in crude tar content from cigarette smoke between the cigarette irradiated in a dose of 1×10^6 rads and unirradiated cigarette.
- 7) No significant difference was observed in maximum temperature of smoking between the irradiated and unirradiated cigarette.
- 8) Toxicity test of the water in which the main stream smoke of the irradiated cigarette was dissolved by using Japanese gold fishes did not show the difference from the unirradiated.

本研究は嗜好品に対する放射線照射の効果に関するものである。嗜好品は一般に栄養価は問題にならず、その風味を賞がんするものであるから狭義の食品に比べて、照射効果の検討の範囲はより少なくて済むが、他方いろんな問題点が生じてくる。その意味から「嗜好品に対する放射線照射効果」を観察することは興味ある研究対象であろう。一般に高線量の照射を受けると嗜好品（食品）は焦げ臭味を呈するようになることが多いから、逆に「焦げた匂いや味を主体とするものには照射は適しているのではないか」とも考えられる。照射食品として（米国で）許可されたベーコンが他の食品に比し500万radのごとき高線量の照射を受けているに拘らずその風味の苦情がないのは、この推察を裏付ける。また、Baldwin¹⁾らがコーヒー、ココアの原豆を50～900万rad照射することにより（抽出速度と抽出率が促進されると共に）その風味が高品位化されることを報告しているのもこの例として良いだろう。著者らも、紅茶、コーヒー、ココア、緑茶を1万～100万rad照射してみたが、高線量では匂いは枯草様となり、味は苦くなり、到底飲用に耐えないものになったことを経験した。しかしこのような結果は、原材料を照射しないで最終製品を照射したためと考えられ、原材料を照射した場合にはまた異なった結果が得られるものと考えられる。

タバコは燃やして喫うものであるから、前述の推論からして照射の好対象といえよう。しかもタバコはニコチンのごときアルカロイドを含有するのみならず、発癌物質を燃焼によって生成し、またその製造には醗酵あるいは熟成の過程があり、更に貯蔵中に多くの昆虫が寄生して大きな損害を与えるので、照射がこれらにどのような効果を与えるかを観察することは誠に興味深い。しかしながらそれには多大の時間と人手を必要とするので、以下に大雑把に観察した予報を記す。照射には専らCo-60線源を使用した。

I 乾燥葉に対する照射

収穫された葉タバコは続いて乾燥に附される。この乾燥葉を100万rad（線量率50万rad/hr）照射してみると、それまではgreen-noteが強くていわゆるタバコ独得の匂いがしな

いものが、照射によって馥郁たるタバコ特有の芳香を放つようになった。この事実はタバコ製造の過程で最も重要な醱酵熟成処理に放射線照射が有用である可能性を示唆している。わが国ではタバコは専売品であるため、原料葉の入手がわれわれには困難なので、これ以上のことはできなかったが、関係当局の試行を促しておきたい。

Ⅱ 寄生昆虫に対する照射

タバコは栽培中から最終製品に至るまで多種類の昆虫によって侵される。そのための年間損害額は莫大なもので、各国の悩みの種となっている。そればかりでなく、成虫、あるいはその幼虫、卵が附着している市販タバコが消費者を憤慨させ、製造者を恐縮させている。消費者からしばしば苦情の出るのはタバコシバンムシやチャマダラメイガあるいはその幼虫、卵の寄生である。これらは製品に寄生して孔を穿ち通気抵抗を変え、また味を苦くして不快さを与える。タバコシバンムシの標本がツタンカーメンの墓の壺の中で発見されていることからして、この昆虫は少なくとも3,500年前にエジプトに存在していたことは疑いがない。これらの昆虫のコントロール法として現在行なわれているのはエチレンオキサイド、青酸、メチルプロマイド等のガス燻蒸法、ピレトリン油等の噴霧法等があるが、それにも拘らず市販品にこれらの昆虫が生きたまま附着していることは、現在の昆虫コントロール法が不満足であることを示しているようである。

タバコ倉庫にむらがるこれら昆虫を入手してきて、タバコをときはぐしたものと共に、50万および17万rad照射してみたが、いずれも照射後即死していることがみられた。入手した昆虫が左程多くなかったので、Co-60γ線によるLD-50量が測定できなかったが、少なくとも17万radより低い線量でコントロールできる見込みはある。(線量率50万rad/hr)。

Ⅲ 香 臭 味

以下に述べる観察はすべて最終品について行なった。その理由は前述の通りである。

「ピース」および「ひかり」を5万、50万、100万rad照射(線量率50万rad/hr)したものは、照射直後はいわゆる照射臭と共に枯草臭が強く、明らかに照射されないものに比べて悪化していることが認められた。しかし3~4週間放置した後、これらを研究所の所員をパネルとして盲試験による香臭味テストを行なってみたところ、50万および100万rad照射されたタバコの方が、より好ましいという回答を得た。より好ましいという回答者にその理由を挙げて貰ったところ、より刺激的でない、マイルドであるという意見が多かった。嗜好品の風味は高級と考えられるものはマイルドなものである傾向が強いが、下手をすると呆けた風味になる。パネル各個にも好みがあり、このテストそのものはまだ大いに検討を今後必要とするが、パネル総数の80%以上が照射された方をより好ましいと回答したことは、少なくともpositiveな傾向を暗示しているとみなして良いであろう。5万rad照射し4週後のものでは対照との差は認められなかった。

Ⅳ 両切タバコの品質

次に照射されたタバコの主な含有成分の変化を調べる必要があるが、そのためにはタバコ1本の重量や密度が一定していないと困る。ところがテストを始めてみるとわが国の両切タバコがあまりにこの条件に適合しないものが多いため困難を感じた。

密度のバラツキはラジオグラフィを行なって図示できるが、これは省略して、ここには1本当りの重量のバラツキを示す。市販の「ピース」と「ボールモール」それぞれ100本の1本当りの重量の頻度図を第1図に示す。

Fig. 1 Distribution of cigarette weight
(100 cigarettes)

「ピース」の重量のバラツキの多いことが一目瞭然としているが、重い方ではキングサイズの「ボールモール」の最大重量にまで涉っており、長さ太さはこれほどのバラツキはないので、この「ピース」は吸引抵抗が大きいため消費者は強く喫わねばならぬのでイライラして怒るわけである。更に燃焼させてみると、「ピース」は「ボールモール」に比べて裁断片の大きさが不均一であるため燃焼状態が大きく変化し、時には消えるものさえある。この意味では明らかに「ピース」は「ボールモール」に比べて粗悪であり、品質管理に相当な技術的工夫と努力を必要とするように思われる。

V ニコチン量の照射による変動

タバコに含有されるアルカロイドの最も主なものニコチンであるが、これが照射によってその量がどのように変動するかを観察してみた。

各種濃度のニコチン水溶液をいろんな線量で照射してみた結果を第2図に示す。ニコチンの定量はシアンプロマイド-βナフチルアミン法によった。この定量法では照射によって変質した物質が同様な呈色を示しているかも知れないので、照射物のペーパークロマトグラフィを行なった。東洋炉紙No. 52、一次元上昇法、展開溶媒は3級アミルアルコール、氷酢、水を4:1:5の割合に混じたものを使用。ニコチンのR_f以外の点にこの試薬による顕色物質が現われないことから、照射によってニコチンから変化した物質はこの呈色反応にかかっていないと推定した。照射によってニコチンはその濃度を減ずることがみられた。

次に、100万rad照射した両切タバコ（「ピース」および「ひかり」）を5本宛一組としてAOACのシリコタングステン酸法によりニコチンの定量を行なった。その結果は、照射されないものと含有ニコチン量に有意の差が認められなかった。

Fig. 2 Reduction of Nicotine concentration by gamma irradiation

in vitro ではニコチン量に変化が認められるに拘らず in vivo では変化が認められない事実の解釈としてはいろいろ考えられるが、因みに、タバコ葉を中性洗剤で洗ってこれをドラージェンドルフ試薬で染色してみたところ、葉に陽性物質（赤色）が diffuse に散在するのではなくて local に局在するのが認められた。（カラー写真は印刷の都合で省略）ドラージェンドルフ陽性物質はニコチン等のアルカロイドのみでなくたとえトリメチルアミン等も陽性であるが、タバコを石油エーテル抽出、あるいはアセトン水で抽出した液をペーパークロマトグラフ²⁾したところ、ほとんど圧倒的にニコチンが陽性物質の代表とみなされることからして、染色されたタバコ葉の赤色斑点はニコチンとみなしても良いと考えた。このようにニコチンが局在することが in vivo の照射では見掛け上の濃度減少が見られぬことの一因と考えられる。

実際には、タバコは燃やして喫うのであるから、燃焼タバコからのニコチン量に差があるかどうかを観察してみた。主煙中のニコチンの捕集は、5%塩酸で湿らした綿球とそれに続く0.5%³⁾塩酸水を入れた fritted glass filter を有する bubbler によった。吸引速度は 1 l/分とした。捕集後、綿球と硝子継手を塩酸水で洗い、これと bubbler 中の捕集液とを合せて前述の顕色法によりニコチンを定量した。タバコの燃焼は一本の全長を燃やさないで 3/4 長で止めた。その結果、100万 rad 照射した「ピース」、「ひかり」、「ポールモール」いずれも照射しないものとその主煙中のニコチン量に有意の差を認めなかった。

Ⅶ タール量

喫煙と肺癌に相関関係があるという報告が疫学方面から出されていることからして、照射タバコからの発癌物質が対照に比べて差があるかどうかを観察しておかねばならぬ。しかしながらタバコが燃焼することによって pyrolysis を起して発癌物質を形成する場合、ほとんどそれはタール中に含まれることが示されているから、燃焼タバコの主煙中の粗タール量を測ってみた。アセトンを入れた捕集瓶を4本直列にし、3本までをドライアイス・アセトン冷媒で冷却して粗タールが捕集された。捕集後アセトンで硝子継手および捕集瓶を洗って、アセトンを蒸発させて

乾燥し、後デシケータ中に入れて重量法により測定し燃焼は前述の通り前3/4長までにした。吸引速度は1ℓ/分。その結果、100万rad照射された両切タバコ（「ピース」、「ボールモール」）は、照射されない煙草とその主煙中の粗タール量に有意の差はなかった。一般に発癌物質のほとんどは中性タール分層のそれも四塩化炭素抽出分層に含まれることが報告されているが、^{5,6)}タールの量と発癌物質の質および量とは必ずしも併行するとは断言できぬので、究極的にはbenzo(a)pyrene, benzo(e)pyrene, benz(a)anthracene等の定量的比較が必要である。

VII 燃焼温度

発癌物の生成は燃焼温度に関係し、700℃以下に下るとその発癌性は非常に下るとい⁷⁾う。そこで間接的に発癌性を伺うために、照射タバコの燃焼温度を測定してみた。温度測定には白金-白金ロジウム熱電対（径5/100mm）を両切タバコの断面中央部に挿入設置して、燃焼中の温度変化を記録してみた。吸引速度1ℓ/分で連続吸引の場合、100万rad照射の「ピース」で最高温度平均830℃、「ボールモール」で890℃、対照タバコのそれはそれぞれ平均840℃、880℃であり、照射タバコと対照では燃焼最高温度に有意の差は認められなかった。被検者がad libitumに喫った場合の燃焼最高温度は100万rad照射の「ピース」で平均828℃、「ボールモール」で833℃、対照タバコのそれはそれぞれ平均833℃、833℃であった。この場合でも照射タバコと対照とに有意の差は認められなかった。

VIII 附着細菌

タバコの附着一般細菌数が照射によってどのように変化するかを観察してみた。そのため、市販「ピース」を無菌的に紙を除いてその細断片を無菌水に入れ、よく攪拌して、この一部を普通寒天培地に混合培養してみた。その結果によると、1本当たり平均2万個の細菌数の存在を認めた。菌の大多数はbacillusの属とmoldに属するものであった。他方100万rad照射した「ピース」を照射直後同様な操作で細菌数を測定してみると、1本当たり平均数十個の存在を認めた。100万rad照射された「ピース」をタバコ小売店にみられるショーウィンドーケースに照射されていないものと共に収めて1カ月後にその附着細菌数を測定してみると、照射タバコではほとんど菌の存在を認め得なかった。他方照射されていない対照のタバコでは相変わらず2万個のオーダーの一般細菌数を認めた。すなわち、照射タバコは細菌もコントロールされている。

IX 毒性試験

タバコの主煙の毒性をテストする方法として、^{8,9)}Weissらはゾウリムシ（Paramecium aurelia）を使用し、捕集水中で90分以内の平均生存時間を以て比較し、有毒成分はそのgas phaseにあること、通常のフィルターつきタバコはその毒性を除く効果がほとんどないことを観察している。これはゾウリムシと人間の気管粘膜の繊毛上皮細胞とが外界からの刺激物¹⁰⁾に対する生理的反応が類似していることから生物試験にこの虫を適用したものである。私共は、彼等が使ったゾウリムシが主煙中のニコチンやフェノールに対する90分致死濃度が1,000ppm以上であるのに不便を感じたので、これらの致死濃度が24時間で数10ppmである和金（金魚）¹¹⁾を使用して毒性試験を行なってみた。毒性試験を行なうのは、照射タバコが照射されないも

のに比べ毒性が増強してはいないかを検討しておく必要があるからである。

主煙を0.5%塩酸水で捕集し、この液中のニコチン量を定量して、これと同濃度のニコチンのみを含む対照液を作り、この2者を試料として、和金の24時間T_{1/2}値を両者について比較した。捕集液は塩酸を中和して対照液と同じpH値についてテストが行なわれた。その結果は両者に有意の差を認めなかった。

このテストでは主煙中の有機溶性の毒性物質については欠けているので、更にこれらについてもテストが行われなければならない。

おわりに

以上に述べたとき観察事実から、タバコに放射線照射を適用して

1. 熟成の促進
2. 寄生昆虫のコントロール
3. 附着細菌のコントロール
4. 香気味の高品位化

に有用な効果を期待できる。観察はほとんどが最終製品について行われたが、原料葉から最終製品に至るまでのそれぞれの処理段階に適した工程での照射による観察が今後行なわれる必要があることを強調しておきたい。

なお本題に関連したものとして「焦げた香味に放射線照射が有用であることが多い」かどうかの問題、「一般嗜好品に対する照射の有用の可能性」の問題、「アルカロイド類への照射の質的あるいは量的効果」の問題に対する今後の検討を提起しておきたい。

文 献

- 1) Baldwin, R. R. et al: U. S. Patent 3,149,977, 1964
- 2) Tso, T. C. and Jeffrey, R. N.: Arch. Biochem. and Biophys., 43, 269 (1953)
- 3) 伊沢正夫, 小橋友助: 農化, 29, 754 (1955)
- 4) Hamer, D. and Woodhouse, D. L.: Brit. J. Cancer, 10, 49 (1956)
- 5) Kosak, A. I., Swinehart, J. S. and Taber, D.: J. Natl. Cancer Inst., 17, 376 (1956)
- 6) Wynder, E. L. and Weiss, W. A.: Cancer, 10, 255 (1957)
- 7) Wynder, E. L.: Brit. Med. J., Feb. 7, 317 (1959)
- 8) Weiss, W. and W. A. Weiss: Arch. Environmental Health, 9, 500 (1964)
- 9) Weiss, W.: ibid, 10, 904 (1965)
- 10) Wang, H.: Nature, 197, 946 (1963)
- 11) 砂田毅, 加藤智雄, 谷戸恵子: 日本衛生学雑誌, 21, 325 (1966)