シリーズ—研究小集会（第22回）果汁部会

解 説

リンゴの原料課題と加工適性

竹 内 正 彦

一般社団法人長野県農村工業研究所 農業開発研究部

Products from Patulin Contamination and Process Suitability of Apple Cultivars

Masahiko Takeuchi

Agricultural Technology Institute of Nagano Farmers' Federation, 787-1 Suzaka, Suzaka, Nagano 382-0084

Penicillium expansum, a fungal plant pathogen that infects apples, is known to produce the mycotoxin patulin, and has been shown to be involved in patulin contamination of apples. Useful knowledge about the low-temperature storage of apple was acquired to prevent patulin contamination. This information can be applied to the optimization of apple storage. Also, trimming has been widely accepted as a method to prevent patulin contamination of apple products. To determine the processing suitability of three newly introduced apple cultivars, 'Shinano Sweet', 'Akibae', and 'Shinano Gold', in Nagano Prefecture, Japan, cloudy-type juices were obtained from these and two other major apple cultivars, 'Fuji' and 'Tsugaru'. 'Shinano Gold' showed a slow rate of brown discoloration and a good sugar/acid balance. These results confirmed the high processing suitability of the three new apple cultivars

(Accepted Oct. 20, 2015)

Keywords : apple cultivar, patulin, cloudy-type juice, processing suitability

キーワード : リンゴの品種, パツリン, 混濁果汁, 加工適性

1. はじめに

リンゴはバラ科に属する高木性落葉果樹である（学名：*Malus pumila* Miller）。原生はヨーロッパ、アジア、北アメリカの三つの大陸に分布しており、現在、各国で栽培されている基本種は、ヨーロッパ東南部およびアジア西部に原生分布していた種と考えられている¹⁾。リンゴは世界各国で生産されており、2013年の生産量は約7000万トンであり、世界の主要果実生産量の中でバナナに次ぐ生産量である²⁾。我が国におけるリンゴの生産は、中部から北日本の比較的冷涼な気候の地域に多く、2013年では結果樹面積は3万7200ha、収穫量74万1700トン（出荷量66万トン）と、世界14位の生産量があり、大きな産業となっている²⁾。都道府県別の生産量をみると、青森県が全体の58%を占め、次いで長野県が18%と、この2県で生産量全体の7~8割程度を占めている³⁾。

生産されたリンゴの多くは生食用として市場に流通されるが、生食用以外に、生産量の1~2割が加工用に使用されている。加工用の用途を見てみると、うち9割が混濁果汁用として使用されている³⁾。

加工用リンゴは、生食用の格外品が大半をしめており、

その品質についても問題となることがある。

パツリン（4-hydroxy-4H-furo(3,2c)pyran, 2(6H)-one）は、*Penicillium expansum*, *P. griseofulvum*, *Aspergillus clavatus*, *Byssoschlamys nivea*などが産生するマイコトキシンの一種である⁴⁾⁵⁾。このうち *P. expansum* はリンゴの腐敗菌の一つであり、リンゴ加工品でのパツリン汚染の主な原因菌となっている。パツリンはリンゴジュースのような酸性条件下では安定で、リンゴジュースの加工工程で用いられる殺菌温度（95℃達温）ではあまり分解しないため⁶⁾、一旦、ジュース中に混入してしまうと除去することは困難である。その毒性としては、消化管の充血や出血⁷⁾、変異原性⁸⁾、DNA損傷⁹⁾などが報告されている。パツリンの規制に関して、Codex委員会ではリンゴ加工製品においてパツリンの量が50μg/kg以下となることを推奨しており¹⁰⁾、日本ではリンゴジュースおよび原料用リンゴ果汁で50ppbに規制されている¹¹⁾。このため、リンゴ加工の現場においては、腐敗果を監視し、その混入を防止する必要がある。

そこで生産量の多い‘ふじ’、‘つがる’に加え新たな品種のパツリンの汚染の影響ならびに加工製品の大半を占めている混濁果汁適性について紹介する。

表1 品種、熟度別のリンゴのパツリン蓄積

品種	熟度	培養日数* [日]	パツリン蓄積量 [μg/kg]	標準偏差 (μ/kg n=15)
祝	(適熟)	6	4700	5070
つがる	(未熟**)	6	7700	7117
つがる	(適熟)	5	2800	3339
秋映	(適熟)	6	330	824
シナノゴールド	(適熟)	5	760	490
ふじ	(未熟**)	5	850	1108
ふじ	(適熟)	5	530	522

* 加害が20 mmに達するまでの日数

** 生食用適熟期の10日前に収穫したもの

2. リンゴにおけるパツリン産生菌の 加害の広がりとおパツリン蓄積量

供試リンゴは各品種の生食用の適熟期に収穫された長野県産のものを使用した。パツリン産生菌 (*P.expansum*) のリンゴへの植菌は坂東らの方法¹²⁾ により行った。加害の広がりを経時的に加害部 (円形) の直径を計測し、その広がり速度を算出した。パツリンの分析は AOAC Official Method 995.10.¹³⁾ を一部改変した方法¹²⁾ により行った。

リンゴに *P. expansum* を植菌し、その加害径の広がりを、‘ふじ’、‘つがる’ および ‘シナノゴールド’ で検討した結果、加害の広がりには5℃で ‘シナノゴールド’、‘つがる’、‘ふじ’ の順で 1.55, 1.54, 1.46 mm/day でほぼ同程度の速度であったのに対し、20℃貯蔵では、‘ふじ’、‘つがる’、‘シナノゴールド’ の順に 7.19, 5.24, 4.42 mm/day と汚染速度は速くなり、5℃の3~5倍の速度で汚染が広がるとともに、品種間での差が大きくなることが確認された。また20℃貯蔵では、‘つがる’、‘シナノゴールド’ では、植菌後、速やかに汚染が広がる傾向に有ったのに対し、‘ふじ’ は20℃貯蔵でも加害が一定期間抑制され、加害が開始されると、急速に汚染が広がることが確認された。

パツリン蓄積量は、*P.expansum* 接種後の加害径が20 mmに達した時点でパツリン量を測定した結果を表1に示した。‘秋映’のパツリン蓄積量は、‘祝’ (適熟) 、‘つがる’ (未熟) と比較し、有意 ($p < 0.01$) に低い値であった。‘ふじ’ (適熟) は ‘つがる’ (適熟) に対しパツリン蓄積量は有意に少なかった。早生種に比べ晩生種で少ない傾向を示した。加害の大きさが同じでも、品種によりパツリン蓄積量が異なり、リンゴの品種により加害の進行やパツリンの蓄積量が異なることが明らかになった。特に他の品種よりパツリン蓄積量が多かった早生種の ‘つがる’ は、加工までの貯蔵期間、貯蔵条件には十分に注意する必要がある。

3. 加工処理によるパツリンの低減化について

ここでは特にリンゴ果汁製造現場におけるトリミング (除去) の方法別によるパツリンの低減化の検討を行った。

供試リンゴに *P.expansum* を接種し、培養後の加害部を、1: 手作業により除去したもの、2: 手作業により除去しさらに水道水により加害部を洗浄したもの、3: 包丁により加害部周辺を完全に除去したものについて、パツリン量を比較した。これらの各処理区のリンゴを写真1に示した。

産生菌の加害部は褐変、軟化しており、手作業でも容易に除去することが可能であり、パツリン量を大幅 (無処理区の0.4%) に減少させることができ、手作業で除去した後、周辺部をさらに水道水で洗浄することで、ほぼ除去され、周辺部分を包丁で完全に除去することで、パツリンを完全に除去することが可能であった (表2)。このことにより、パツリン汚染は加害部 (褐変、軟化) 以外へは広がらないことが示唆された。このことは実際の果汁工場の現場でも、洗浄後、原料処理量に応じた複数の熟練した専任作業員によるトリミング工程があり、パツリン汚染の低減化による安全な製品作りにおいて重要であることが確認された。また果汁工場では、原料リンゴの洗浄工程はバブリング、流水、シャワーおよびローラーブラシ洗浄の複数段からなっている。このことで原料の押し傷や腐敗部分等の軟化部分が物理的に除去され、加害部の大きな汚染部分も除去され、パツリン汚染の低減化につながっている可能性が考えられる。

4. 品種別リンゴの加工適性について

リンゴの加工製品の大半を占める混濁果汁について、品種別に加工適性を調査した。供試品種は生産量の多い ‘ふじ’、‘つがる’ に加え、長野県において生産量が増加し、今後加工用原料として利用が多くなることが予想される ‘シナノスイート’、‘秋映’、‘シナノゴールド’ を用いた。

4.1 品種別のリンゴの褐変特性

リンゴの褐変は混濁果汁の色調に大きく影響しており、品種別に大きな品種間差があることが明らかにされている^{14)~17)}。

品種別の破碎物の色調経時的に測定した結果を図1に示した。初期の褐変速度は、‘シナノスイート’ > ‘ふじ’ > ‘秋映’ > ‘つがる’ > ‘シナノスイート’ の順になっており、‘シナ

*P. expansum*による加害

A：手作業による加害部の除去 (丸)

B：手作業による加害部の除去 (半割)

C：手作業による加害部の除去+水洗

D：加害部の周辺を器具により除去

写真 1 加害部の各種トリミングによる除去

表 2 トリミング法別のパツリンの低減化

試験区	加害部	手作業除去	手作業除去水洗	包丁による除去
($\mu\text{g}/\text{kg}$)	8000	30	Tr*	N.D.**

*Tr, 0.5 以上 $2\mu\text{g}/\text{kg}$ 未満； **N.D., $0.5\mu\text{g}/\text{kg}$ 未満

図 1 品種別のリンゴ破砕物の色差の経時変化

ノゴールドは従来より、褐変速度が遅いとされてる‘つがる’と同程度の褐変しにくい品種であった。‘シナノゴールド’は褐変が課題となっているカットリンゴへの加工適性も高いと考えられる¹⁸⁾。

4.2 品種別の混濁果汁の品質

混濁果汁の調製は褐変 (酸化) 防止にL-アスコルビン酸

を使用し、圧力によるケージプレス方により搾汁を行った。

搾汁率、糖度、酸度、糖酸比、pH および色調の測定結果を表3にそれぞれ示した。搾汁率は‘シナノスイート’、‘秋映’および‘シナノゴールド’で、既往品種の‘つがる’、‘ふじ’より高い値を示した。糖度は、‘ふじ’に次いで、‘シナノスイート’が13.84と高かった。酸度は‘シナノゴールド’と‘秋映’が0.4%を超えて他品種と比べて高く、リンゴ混濁果汁の食味に大きな影響を与える糖と酸のバランスの指標である糖酸比は30台で、糖と酸のバランスが良好であった。‘つがる’、‘ふじ’および‘シナノスイート’の糖酸比は45を超えており酸味が低く、甘味を強く感じる傾向を示している。色調では、赤色を示すa値は、‘シナノスイート’と‘ふじ’が同値の-4.30と低い値を示し、逆に‘秋映’は‘つがる’同様に高い値を示した。‘秋映’は果皮色が濃赤色で、搾汁中に果皮色素の溶出などの影響により、薄オレンジ系の果汁になったと考えられる。‘シナノスイート’は、‘ふじ’と同様に、黄色を示すb値が高く、黄色の強い品種である特性が示された¹⁸⁾。

5. おわりに

リンゴ加工産業における原料汚染で課題となるパツリン

表3 リンゴの品種別混濁果汁の成分

品 種	搾汁率 [%]	糖度	酸度* [%]	糖酸比	pH	色 調		
						L	a	b
シナノゴールド	78.4	13.18	0.41	32.15	3.61	20.95	-3.35	2.32
シナノスイート	78.1	13.84	0.30	46.13	3.81	29.13	-4.30	4.54
秋映	78.3	12.20	0.40	30.50	3.30	26.15	-2.56	3.36
ふじ	75.6	14.47	0.31	46.68	3.75	27.18	-4.30	4.80
つがる	77.3	12.01	0.25	48.04	3.82	22.86	-2.78	-0.79

*酸度：リンゴ酸換算

について、品種別に産生菌の加害の広がりを調査し、低温管理の重要性が明らかとなり、特に早生種の‘つがる’で注意が必要である。また加工におけるパツリン汚染の低減化では、汚染部を完全に除去することが有効であり、果汁工場の現場で行われているトリミング作業の重要性が確認された。

新たに生産量の増加が予想される品種は、特に‘シナノゴールド’は褐変速度が低く、糖と酸のバランスが良好であり、果汁やカットリング製品等への加工適性が高く有望であることが示唆された。

今後ともリンゴ加工産業における安心・安全かつ高品質な製品が提供されることにより、さらに発展することを期待する。

文 献

- 吉田義雄編著, りんご品種大観, 長野県経済事農業協同組合連合会, pp. 1-2 (1986).
- 農林水産省, 平成25年度産果樹出荷統計 (2013).
- 農林水産省, 果樹生産集荷統計 (2010).
- Flank, H.K., Occurrence of patulin in fruit and vegetables. *Ann. Nutr. Alim.*, **31**, 459-465 (1977).
- Ciegeler, A., Fungi that produce mycotoxins: conditions and occurrence. *Mycopathologia*, **65**, 5-11 (1978).
- Collin, S., Bodart, E., Badot, C., Bousseta, A. and Nizet, S., Identification of the main degradation products of patulin generated through heat detoxification treatments. *J. Inst. Brew. Distil.*, **114**, 167-171 (2008).
- Speijers, G. J., Franken, M. A. and VAN Leeuwen, F. X., Subacute toxicity study of patulin in the rat: effects on the kidney and the gastro-intestinal tract. *Food Chem. Toxicol.*, **26**, 23-30 (1988).
- Schumacher, D. M., Metzler, M. and Lehmann, L., Mutagenicity of the mycotoxin patulin in cultured Chinese hamster V79 cells and its modulation by intracellular glutathione. *Arch. Toxicol.*, **79**, 110-121 (2005).
- Liu, B.H., Yu, F.Y., Wu, T.S., Li, S.Y., Su, M.C., Wang, M.C. and Shih, S.M., Evaluation of genotoxic risk and oxidative DNA damage in mammalian cells exposed to mycotoxins, patulin and citrinin. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **191**, 255-263 (2003).
- Draft maximum level for patulin in apple juice and apple juice ingredients in other beverages, Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Food Additives and Contaminants (2002). ([ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/CCFAC34/fa02-19e.pdf](http://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/CCFAC34/fa02-19e.pdf)) 【最終アクセス日：2014年5月9日】
- 厚生労働省, 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び食品, 添加物等の規格基準の一部改正について, パツリンについて (2003). 【最終アクセス日：2014年5月9日】
- Bandoh, S., Takeuchi, M., Ohsawa, K., Higashihara, K., Kawamoto, Y. and Goto, T., Patulin distribution in decayed apple and its reduction. *Intern. Biodetero. Biodegrad.*, **63**, 379-382 (2009).
- AOAC International, 2005, AOAC Official Method 995.10, Patulin in apple juice. In: Horwitz, W. (ed.) Official Method of Analysis of AOAC International, 18th ed., AOAC International, Gathersburg, MD, USA.
- 山王丸靖子, 片山 脩, 榎村芳記, 金丸勝芳, リンゴの褐変に及ぼすポリフェノールオキシダーゼ活性の影響, 日本食品科学工学会誌, **45**, 28-36 (1998).
- 宇野和明, 宇野良子, 前田 巖, 加田静子, リンゴ果肉の酵素的褐変における速度論的研究, 調理科学, **33**, 7-12 (2000).
- 竹内正彦, 石澤広明, 松澤恒友, りんご果汁の高品質化に関する研究, 果汁協会報, **418**, 13-21 (1992).
- 竹内正彦, 石澤広明, 柳原政利, りんご果汁の高品質化に関する研究 (第2報) 原料の褐変特性について, 果汁協会報, **441**, 39-42 (1994).
- 竹内正彦, 白澤隆史, 滝沢 潤, 後藤哲久, 長野県オリジナルリンゴ品種 (‘シナノスイート’, ‘秋映’ および ‘シナノゴールド’) の果汁への加工適性, 日本食品保蔵科学会誌, **41**, 65-69 (2015).

(平成27年10月20日受理)