総 説

コムギ及び小麦粉の貯蔵と熟成

長 尾 精 一*・田 中 健 次*

Storage and Aging of Wheat and Wheat Flour

Seiichi NAGAO* and Kenji TANAKA*

* Central Research Laboratory, Nisshin Flour Milling Co., Ltd., 177-3, Tsurugaoka,
Omi-machi, Iruma-gun, Saitama-ken, 354

コムギは子孫のための生命で、“生きもの”であり、新しい世代のためのエネルギーの貯蔵庫でもある。人類はその中心であるデンプン、タンパク質等を小麦粉として利用している。

コムギは呼吸しており¹⁾、貯蔵中にわずかずつ変化するが、温湿度等の貯蔵条件、微生物や害虫等に大きく影響される。これを粉砕した小麦粉も貯蔵中に変化して行く。

世界各国の市販小麦粉には、漂白などの処理をしたもの、ビタミンやミネラル等を強化したもの、大豆粉等の穀粉を混合したものもあるが、本稿ではコムギと無処理の小麦粉が貯蔵中にどう変化するかを、デンプン、タンパク質、脂質を中心にまとめた。

コ ム ギ

コムギの皮は丈夫で、適切な条件に保たれていれば長期間貯蔵しても品質的にかなり安定である。その上、コムギの製パン性は徐々に改善される。同一品種で収穫直後と1年間貯蔵したものを比較すると、後者の方が優れた製パン性を示す²⁾³⁾のが普通だが、この貯蔵中の変化の大部分は、貯蔵初期に生ずると思われる⁴⁾。

SAUNDERS ら⁵⁾はあるコムギ品種の製パン性の変化を5年間経時的に測定した結果、収穫後4年で最高になり、それ以後は低下した。しかし、最適条件で貯蔵したコムギはこの低下が少ない⁶⁾。FIFIELD ら⁷⁾は最適条件で9~22年間貯蔵したコムギから良いパンを得た。室温で乾燥状態に25年置いたコムギは製粉性とタンパク量が若干

低下したが、パンの品質はほぼ変わらず、12%の発芽率を示した⁸⁾。

貯蔵条件によりどのような変化が生ずるか、これまでの研究をまとめてみたい。ただし、1950年代後半までの研究についてはGEDDES がよくまとめている⁹⁾。

1. 脂 質

コムギには抗酸化剤があるので、健全粒の貯蔵中の脂質変化は加水分解の方が酸化的酸敗よりも重要である¹⁰⁾。この変化はタンパク質や炭水化物の加水分解より早く生ずるので、遊離脂肪酸含量は貯蔵状態、期間、健全度などの指標になる¹¹⁾¹²⁾。BAKER¹¹⁾¹²⁾及びSORGER-DOMENIGG ら¹³⁾は遊離脂肪酸含量とコムギの劣化を関係づけた。それによると、健全粒の脂肪酸価は平均10.9で、最高20にも達する。しかし、MECHAM らは、ある貯蔵条件ではコムギの劣化の方が脂肪酸の増加より早く進むことを見出した¹⁴⁾。

逆にHUTCHINSON¹⁵⁾及びLINKO ら¹⁶⁾は、貯蔵による脂肪酸価の増加と発芽率の低下は強い関係があるが、製パン性低下とは直接関係がないとした。同様にFIFIELD ら⁸⁾は、33年間貯蔵したコムギの脂肪酸価は高く、発芽しなかったが、その小麦粉の製パン性はほとんど低下しないことを認めた。FELLERS ら¹⁷⁾は、コムギ粒からふすまと胚芽を除去すると脂肪酸価の増加速度は小さいことを見出した。

DAFTARY ら¹⁸⁾は、高温高湿でコムギを貯蔵すると急激に脂肪が減少し、特に極性脂質(リン脂質、糖脂質)の減少が大きいことを見つけた。これはコムギ自体の酵

* 日清製粉(株)中央研究所穀物科学研究室(〒354 埼玉県入間郡大井町大字鶴ヶ岡 177-3)

素による分解よりも、付着して増殖した微生物の働きによるものである¹⁹⁾。かび数が千倍になると、エーテルで抽出される遊離脂質が20%も減少する²⁰⁾。極性脂質は製パン性に重要で、微生物による被害が与える影響は大である。

脂肪の酸敗とコムギ品質についての研究者間の見解の相違は、コムギの種類や貯蔵条件の違いによる。同一品種のコムギで同じような高い脂肪酸価を示しても、片方がかびによるもので、他方が長期間最適条件下で貯蔵したものなら、前者は製パン性が悪く、後者は良好である。それ故、コムギの“履歴”を掴むことが特に重要である。

2. 炭水化物

コムギ貯蔵中に、脂質ほど急速ではないが炭水化物も変化する。収穫後すぐに α 及び β アミラーゼの活性が高くなり²¹⁾、デキストリンとマルトース含量が増える。

Gross²²⁾は、ある貯蔵条件下でコムギの乾物重量が増加するが、これはデンプンの加水分解によると報告した。デンプンがアミラーゼにより加水分解されると、分解生成物の重量は少し重くなるが、コムギは呼吸するので²³⁾還元糖が消費され、水と炭酸ガスになる。それ故、貯蔵が長びくと重量が減少するはずだが、LEAVIT ら²³⁾はコムギ中の全糖類含量は貯蔵中に増加すると報告している。

貯蔵コムギ中の可溶性炭水化物量は水分量に依存する²⁴⁾。胚芽には糖類が30%近くもあるが²⁵⁾、貯蔵条件により大きく変化する。GLASS ら²⁶⁾はコムギを空气中及び窒素中で水分量を変えて貯蔵したところ、非還元糖が減少し還元糖が増加した。これは水分が多いほど、また、窒素中よりも空气中の方が大きかった。LINKO ら²⁷⁾も、水分9~25%で温度29~50°Cに8日間貯蔵したコムギ胚芽中の糖に、還元糖の増加と非還元糖の減少を認めた。PIXTON ら²⁸⁾は、6年間貯蔵した健全コムギの糖含量の

減少は非還元糖の減少によると結論づけた。また、胚芽中の糖類はコムギを2日間湿った空気にさらすと減少するので、胚芽の糖含量が貯蔵状態を知る目安になるとDUBOIS ら²⁹⁾が提唱した。

TAUFEL³⁰⁾は貯蔵中の二、三糖類の変化を測定した。表1に示すように、良い貯蔵条件下ではシュクロースが若干減少した以外はほとんど変化がなかったが、高温高湿下ではシュクロース、グルコジフラクトース、ラフィノースが減少した。GLASS ら³¹⁾及びLYNCH ら³²⁾の実験では、空气中に貯蔵した場合には還元糖はほとんど変化しないが、非還元糖のシュクロースは減少し、窒素や炭酸ガス中に貯蔵した場合にはマルトースは変化せず、グルコースとフラクトースが3倍、ガラクトースが4~5倍増加した。この結果、空气中に貯蔵すると還元糖の消費が大きいことが分った。

3. タンパク質及びアミノ酸

コムギは短期間貯蔵でグルテンの性質が変化し、製パン性が改善される³²⁾。PIXTON ら³³⁾は、コムギ中のグルテンは貯蔵開始後2年間は変化するが、それ以降は変化しないこと、品種によってその変化が異なり、カナダコムギはグルテンが軟化するがCAPPLE (イギリス)コムギは逆に硬化すると発表した。PIXTON ら²⁸⁾は上記と同じコムギを8年間貯蔵した結果、粗タンパクとしては変化しないが、塩溶性タンパクは初期の2年間で少し減少し、その後はほとんど変化しなかった。古く、JONES ら³⁴⁾はコムギを2年間貯蔵するとタンパク質の溶解性の減少、部分的分解、及び消化率の低下を生ずることを報告した。これらの変化は貯蔵条件により影響を受け、温度が高いほど、また、密封容器より紙袋の方が大きかった。彼らはこれを酵素と酸化によるものと結論づけた。KOZLOVA ら³⁵⁾は、貯蔵によるタンパク質の溶解性の低下はタンパク質の会合による親水性の低下によると報告

表1 良い条件及び悪い条件に貯蔵したコムギ中の二、三糖類の変化 (TAUFEL, 1959)³⁰⁾

Storage Time days	Moisture Content %	Temperature °C	Relative Humidity %	Sucrose %	Maltose %	Diffructose %	Raffinose %
0		16-21	50-70	0.88	0.04	0.26	0.19
116				0.80	0.04	0.22	0.18
160				0.77	0.04	0.21	0.19
172				0.75	0.05	0.21	0.19
0	11.6	30-32	90-95	0.80	0.04	0.22	0.18
10	12.6			0.77	0.04	0.21	0.18
5	19.8			0.63	0.08	0.11	0.16
3	35.4			0.55	0.70	0.09	0.10

(Sugar concentration, dry-matter basis)

し、長期貯蔵によるグルテン品質の低下は、収穫後過激な条件で乾燥したりくん蒸した試料に大きい事も認められた。

コムギ胚芽中には、比較的低水分でもかなり活性の高い酵素がある³⁶⁾。水分が多いほどこれらの酵素の働きによりコムギ中の遊離アミノ酸量及び構成比率が変化し³⁷⁾、 γ -アミノ酪酸の増加が特に著しい^{37)~39)}。これはグルタミン酸デカルボキシラーゼの活性増加によるものだが、長く貯蔵するとこの活性が低下することも知られている⁴⁰⁾⁴¹⁾。LINKOはこの性質を利用して、貯蔵条件(温度、水分)とグルタミン酸デカルボキシラーゼの活性からコムギの貯蔵可能期間を推定する図(図1)を作成した。A軸とE軸を結んだ直線とB軸の交点から50%活性期間が、さらにこの交点からD軸の圧力計の読み(グルタミン酸デカルボキシラーゼ活性測定時の)に直線を引いた時のC軸との交点から貯蔵可能期間が推定できるとした⁴²⁾。また、彼は⁴²⁾⁴³⁾水分16.2%のコムギを37°Cで貯蔵したが、最初の2日間でグルタミン酸が急激に減少し、同時に γ -アミノ酪酸の大幅な増加を認めた。これは

前述と同じ理由による。また、グルタミン酸とアルギニン以外のアミノ酸もタンパク分解酵素の働きにより増加した。

4. 貯蔵と微生物

コムギに寄生、付着する微生物の種類は多い⁴⁴⁾が、品質に特に影響を及ぼすのはかび類である。

CARTER ら⁴⁵⁾はコムギ外皮にかび胞子を見つけ、その数は下位等級のコムギほど多かった。また、OXLEY ら⁴⁶⁾及びHYDE⁴⁷⁾は種皮の内部に菌糸の存在を認め、貯蔵中の品質劣化はこれらに由来すると結論づけた。かびの増殖によりコムギ胚芽が変色する事があるが^{18)45)48)~57)}、これは脂肪酸価の上昇^{12)45)48)55)~58)}と発芽率低下⁴⁵⁾⁴⁸⁾⁵⁶⁾⁵⁹⁾⁵⁹⁾を伴う。注意を要するのは、かびの繁殖が進むにつれて製パン性が低下する事である¹³⁾²⁰⁾。

付着するかびの種類は乾燥した健全なコムギの場合、ほとんど *Alternaria* sp. で、*Helminthosporium* sp. が付着する場合もある。コムギ水分の増加と共に *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus candidus*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium glaucum* が増加し⁴⁹⁾⁵⁶⁾、コムギ胚芽が変色する迄かびが増殖すると *Aspergillus glaucus*, *Penicillium glaucus* が中心となり、他に *Aspergillus candidus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* や細菌となる⁴⁹⁾⁵⁵⁾。かびによる被害はコムギの種類により差があり、春コムギより冬コムギの方が被害を受け易い⁶⁰⁾。かびの種類はコムギの等級によっても異なり、上位等級のコムギに付着するのは主として無害な *Alternaria* sp. だが、下位等級のコムギでは *Aspergillus* sp. と *Penicillium* sp. が中心なので被害を受け易い⁶¹⁾。

かびの繁殖はコムギの貯蔵条件及び期間に影響される。貯蔵温湿度が上昇するとかびが増殖する^{45)48)53)55)~57)62)}。高温高湿で短期間貯蔵したコムギを通常の条件に戻すとかび数は減少するが、脂肪酸価の上昇と胚芽の損傷は継続する⁶³⁾。水分12~13%のコムギを室温及び4.5°Cで貯蔵すると、*Aspergillus* sp. と *Penicillium* sp. は最初の1~2年で減少した。この減少は室温貯蔵の方が4.5°Cの場合よりも大きかったが、空気中の酸素量はあまり影響しなかった。貯蔵4年で *Alternaria* sp. はごく少数になり、*Cephalosporium* sp. と *Cladosporium* sp. は完全に消滅した²⁸⁾³³⁾。Peterson ら⁶⁴⁾はコムギを酸素量を変えて16年間貯蔵して、酸素量が少いほどかびの増殖、胚芽の損傷及び脂肪酸価の上昇が抑制される事を報告した。PAPAVIZAS ら⁶⁰⁾は比較的良い条件で貯蔵したコムギにもかびの被害が発生することがあるのを認めた。被害を起こすかびは収穫直後のコムギに付着しているのでは

図1 グルタミン酸デカルボキシラーゼ活性と水分、温度条件からのコムギ貯蔵可能期間の推定図 (LINKO, 1960)⁴²⁾

G: germination P: pressure E.L.: ethyl lactate

なく、カントリーエレベーター、ターミナルエレベーターで付着するという報告がある⁶⁵⁾⁶⁶⁾。KAUFMANN⁶⁷⁾は3年間アメリカ各地からターミナルエレベーターに集ったコムギについてかびの観察をした結果、*Alternaria* sp. が46~90.7%、*Aspergillus glaucus* が1.4~10.9%、*Aspergillus flavus* が0~3.7%、*Aspergillus candidus* が0~0.5%、*Penicillium* sp. が0~0.8%の割合だった。彼は *Alternaria* sp. は無害なかびで、健全なコムギに多いことから、*Alternaria* sp. が多いのはそのコムギの貯蔵条件が良かったことを示すと結論づけた。

小 麦 粉

健全なコムギを最適条件で貯蔵すると大きな変化はないが、小麦粉になると貯蔵中に変化が見られる。例えば、脂質は加水分解の酸敗に加えて自動酸化的酸敗も生ずる¹⁰⁾。一般的に、小麦粉は挽きたての間は時間と共に製パン性が向上する⁵⁷⁾⁶⁸⁾⁶⁹⁾。FISHER ら⁷⁰⁾はこれは酸化剤の効果と同じだと述べているが、BENNETT ら⁷¹⁾はこの効果は思ったほど大きくないと報告している。いずれにしろ、短時間である程度の改良効果が現われた後、小麦粉の品質はかなりの期間ほぼ安定状態に入り、その後徐々に低下していく。初期の改良効果は脂質、タンパク質等のコムギ成分の酸化によるものであり、その後の品質低下は不飽和脂肪酸の酸化物の生成によるものと考えられる⁷²⁾。また、かなり長期間保存した場合の小麦粉の製パン性の低下傾向は、石油エーテル抽出脂質の量の低下と関係づけられる⁷³⁾⁷⁴⁾。

貯蔵中の小麦粉の品質変化に関する報告は研究者によってかなり差がある。SAUNDERS ら⁵⁾は、貯蔵条件が良ければ14年間経ってもほとんど品質が低下しないことを報告した。逆に、FISHER ら⁷⁰⁾は鉄製容器に貯蔵した小麦粉は2年足らずで、McCALLA⁷⁵⁾らは密封容器に水分13.5%の小麦粉を入れ16~28°Cで貯蔵すると3ヶ月で製パン性が少し低下したことを報告した。また、THOMAS⁷⁶⁾は小麦粉の水分を14.5%にして30°Cの高温下に置くと6ヶ月以降貯蔵性が低下する事を示し、同様の傾向をCUENDET ら⁷⁷⁾も認めている。逆に小麦粉の水分を数%にまで減らしても、酸敗臭が生じたりして貯蔵性が低下する⁷⁸⁾⁷⁹⁾。報文として発表されていないが、我が国では貯蔵条件さえ良ければ、パン用粉で6ヵ月、菓子・めん用粉で1年は加工性を低下させないで貯蔵出来るというのが常識になっている。ただし、業務用の大袋の場合には、製粉工場を出ると必ずしも理想的な貯蔵条件が得られないことも多い。

小麦粉の変化は、温度、湿度、雰囲気等の貯蔵条件により大きく左右される⁷⁷⁾。水分が多いほど、等級が低いほど、製パン性の低下が早いし、粒度によっても影響される。LAMOUR ら⁸⁰⁾は、小麦粉より粒度が粗いファリナは小麦粉より貯蔵中の変化が遅いことを示したが、これは粉に圧力をかけ塊として貯蔵すると品質が長持ちするという報告と関連深い⁸¹⁾。

1. 貯蔵条件と小麦粉の変化

前述のように、小麦粉は貯蔵条件が悪くて期間が長くなると品質が変化していく。その指標としては pH の低下と微生物の増加がある⁸²⁾。小麦粉貯蔵中の pH の低下は古くから知られており^{83)~86)}、粉の等級、水分含量、温度、湿度等に大きく左右される^{68)70)79)83)86)~89)}。多くの研究の共通点は、空気の温湿度が低く、小麦粉の水分が限度を越さない程度低くて、等級が良いほど pH の低下を防止出来、品質を安定に保てるということである。

小麦粉の pH の低下は、脂質、タンパク質、フィチン等の加水分解による遊離脂肪酸、アミノ酸、リン酸等の生成によれが、適切な貯蔵条件下ではアミノ酸、リン酸等の生成はない⁹⁰⁾。

小麦粉の貯蔵による品質変化の度合いは、貯蔵容器や袋の材質でも影響されるという報告がある⁹¹⁾。一方、SWANSON ら⁹²⁾は密封したジャーと布袋で貯蔵した小麦粉の品質に大差を認めなかったし、麻袋と紙袋では前者の方が水分減が大だった以外は品質的にほとんど差がないという報告⁹³⁾もある。袋と密封したかんで貯蔵して比較しても、品質変化はほぼ同じという報告⁷⁰⁾⁹⁴⁾や、乾燥した小麦粉は水分を通さない袋で貯蔵しても品質は保てるが、通常の水分の小麦粉の場合には水分を通す袋でないと品質低下が起るという報告⁸⁰⁾などまちまちである。小袋で貯蔵した方が大袋よりも水分低下が大きい⁹⁵⁾。貯蔵中に製パン吸水が増えることがあるが⁵⁾⁸⁸⁾⁹⁶⁾、水分の減少が1つの原因であろう⁷¹⁾。

PRATT⁹⁷⁾は、小麦粉は化学的に見ると製造してから7~11日迄の間で変化が見られるが、この変化は製パン試験に現われるほど大きくないことを示した。未発表であるが我々が試験したところでも、収穫してからある期間経過したコムギを原料にして挽いた粉の場合、製粉後3日ぐらいで実際の製パン上ほとんど問題のない程度に熟成が進むことを認めている。FISHER ら⁷⁰⁾は長期間貯蔵した場合の小麦粉の品質変化は、原料コムギの種類により異なり、カナダコムギの粉は数年間も品質が変わらないのに、英国産のソフトコムギの粉は数ヶ月しか安心して貯蔵出来ない事を示した。最近 JOHNSON ら⁶⁹⁾はソフ

トコムギの粉を室温と4°Cに2ヶ月貯蔵したところ、室温貯蔵の場合若干の品質向上が見られ、4°Cに8ヶ月貯蔵した小麦粉も袋の上部は品質が向上したが、残りの部分はほとんど変化しなかった。

小麦粉の品質変化は雰囲気によっても大きく影響される。GREER ら⁷⁸⁾は不活性ガス中で貯蔵すると貯蔵可能期間が大きく伸びる事を報告した。

小麦粉は貯蔵中にカロチノイド色素が酸化されて白っぽくなる⁶⁸⁾⁹⁸⁾。この変化は製粉後305日で最高に達するという報告⁹²⁾や、室温で2ヵ月及び38°Cで1ヶ月貯蔵した小麦粉の色の変化をAgtron計で測定したところ、本質的な差を認めなかったという報告⁹⁹⁾もある。貯蔵中に吸収された空気中の酸素は、脂肪とカロチノイドの酸化に使われる⁷⁹⁾。酸素の吸収は貯蔵期間がのびるほど、また遊離脂肪酸の増加と共に増大する¹⁰⁰⁾¹⁰¹⁾。脱脂した小麦粉ではこの吸収が大きく減少することから、吸収された酵素は先ず脂肪酸に働きかけることが予想される¹⁰⁰⁾¹⁰¹⁾。

2. 脂 質

コムギと同様に小麦粉も貯蔵中にpH低下が見られ、遊離脂肪酸の生成が主原因である¹⁰²⁾¹⁰³⁾。その程度は貯蔵条件により異なるが、薄力粉、中力粉、強力粉の順に小さくなる¹⁰⁴⁾。ただし、通常の条件では内部脂質と呼ばれるデンプン中の脂質は分解されない¹⁰⁵⁾¹⁰⁶⁾。脂質の酸敗は加水分解、酸化及び微生物による変質に分類されるが、水分含量によってどの酸敗を生ずるか大別出来る¹⁰⁵⁾。水分が8%以下だと酸化的酸敗が中心となり^{77)~79)}、15%以上では主として微生物による脂質の分解が生じ^{79)107)~109)}、12~14%ではわずかず加水分解され遊離脂肪酸が増加する⁷⁸⁾⁷⁷⁾¹⁰⁷⁾¹¹⁰⁾。例外として、水分12~13%の小麦粉を通常貯蔵するとリノール酸の酸化物が生ずるという報告がある¹¹¹⁾。

脂質は製パンに重要な役割を果すので、貯蔵中の変化は影響が大きいと思われる。前述のように小麦粉は挽きたての短期間には製パン性の向上が見られるが、ある期間経過後は逆に製パン性が徐々に低下傾向に向い⁷⁴⁾⁷⁷⁾¹¹²⁾、この変化は貯蔵条件により左右される⁷⁸⁾⁷⁴⁾⁷⁷⁾⁸²⁾¹⁰⁸⁾¹¹³⁾¹¹⁴⁾。小麦粉の製パン性の変化と遊離脂肪酸含量との関係⁷⁴⁾や、小麦粉の強さと遊離脂肪酸生成速度との関係¹¹⁰⁾を明らかにしようと研究されたが、明確な答は得られていない。SHELLENBERGER ら¹¹⁵⁾は4°Cで貯蔵した小麦粉の製パン性と遊離脂肪酸含量との関係は明らかでないが、38°Cで貯蔵したものは関係があると報告した。貯蔵2年以降は遊離脂肪酸の増加と共に製パン性が

急激に低下するという報告¹⁰⁴⁾や、逆に長期間保存した小麦粉の遊離脂肪酸含量が非常に多くなっても製パン性が良好なことを認めたものもある⁷⁸⁾。FIFIELD ら⁸⁾も小麦粉を33年間貯蔵して同様の結果を得ている。このように遊離脂肪酸量と製パン性に関する見解は研究者によりまちまちである。

遊離脂肪酸の種類及び量の変化も測定されている¹⁰⁵⁾¹¹⁶⁾。貯蔵中に遊離脂肪酸の量は増えるが、脂肪酸組成は変わらず、しかも脂肪含量が一定である¹⁰⁵⁾。これは脂肪酸リボキシゲナーゼ等の酵素により攻撃されない事を意味する¹⁰⁶⁾¹¹⁰⁾。しかし、WARWICK ら¹¹⁶⁾は脂質の加水分解と共にリノール酸のある程度の減少を認めた。

貯蔵中の小麦粉の水分が多く、かびが増殖すると脂肪の分解が急激に進み内部脂質まで分解を受け、特に結合極性脂質が加水分解されやすい¹⁰⁸⁾¹⁰⁹⁾。結合極性脂質の減少は製パン性の劣化を意味する¹¹⁴⁾。図2に示すように、小麦粉がかびの被害を受けるとミキソグラフに示される物理的性質は変化する¹¹⁴⁾。これに健全な小麦粉の極性脂質を添加してもミキソグラフ特性はほとんど変化しないが、表2のように製パン性はかなり改善される。

図2 健全及びかびの被害を受けた小麦粉のミキソグラフ (POMERANZ, 1968)¹¹⁴⁾

3. 炭水化物

貯蔵小麦粉中の炭水化物の変化に関する報告は少い。

密封容器と綿袋で貯蔵した小麦粉のマルトース含量は前者では変化しなかったが、後者の場合30週でかなり減少したという報告がある¹¹⁷⁾。LONEY ら¹¹⁸⁾は小麦粉を4年間室温と50°Cで貯蔵し、室温ではアミログラフ粘度の上昇を認めたが、50°Cのものは上昇して行き20週目で平衡に達した後、減少して40~50週目で元の値に戻った。小麦粉から分離したデンプンも同様に貯蔵したが、逆にアミログラフ粘度は減少した。彼等はこの現象を解明していない。DAFTARY ら¹¹⁹⁾は小麦粉がかびの被害を受け、そのデンプンはほぼ健全であることを認めた。そ

表2 健全小麦粉より抽出した脂質を100gの健全及びかびの被害を受けた小麦粉に添加した場合の製パン性に及ぼす影響 (POMERANZ, 1968)¹¹⁴⁾

Lipid description	Lipid level g	Sound Flour		Damaged Flour	
		Loaf volume ml	Crumb grain	Loaf volume ml	Crumb grain
Name	...	972	S	647	U
Total	0.5	...		650	U
Total	1.0	975	S	700	U
Total	1.5	950	S	870	Q-U
Free	0.8	...		685	Q-U
Free	1.5	950	S	850	Q-U
Nonpolar free	0.5	885	Q-U	635	U
Polar free	0.5	1053	S	835	Q-U
Polar free	1.0	1030	S	865	Q-U
Polar free	2.0			950	U

S=satisfactory, Q=questionable, U=unsatisfactory

れ故、被害を受けた小麦粉のデンプンを健全な小麦粉のデンプンと置換しても、製パン性は向上しない¹¹⁴⁾。しかし、かびの被害が大きく進むとデンプンも損傷を受けるようになる¹¹⁹⁾。

4. タンパク質及びアミノ酸

小麦粉を長期間貯蔵すると、タンパク質の溶解性と消化性が低下し、アミノ態窒素が増加傾向になる³⁴⁾。

KOZMIN⁹⁸⁾によると、グルテンは遊離脂肪酸の増加と共に伸展性がなくなり弾力が増してついには脆くなるが、遊離脂肪酸を除去すると元の性質に戻る。この脂肪酸を製粉直後の粉に添加したところ、そのグルテンは貯蔵した小麦粉のグルテンと同じ性質になった。同様の結果は幾人かの研究者達により得られた⁷⁴⁾¹⁰⁷⁾¹²⁰⁾¹²¹⁾。ただし、遊離不飽和脂肪酸はグルテンの性質に影響を及ぼすが、製パン性への影響はそんなに大きくなく、それが酸化物となってはじめて製パン性を劣化させる⁷²⁾⁷³⁾¹²⁰⁾¹²¹⁾。これはこの酸化物がグルテンのコロイド的性質を変化させるためである。FISHER⁷⁰⁾はとても古くて製パン性が劣る小麦粉を挽きたての粉に2%添加して、その製パン性が少し向上することを認めた。これは古い粉中の遊離不飽和脂肪酸がグルテンに作用し、その性質を変化させるからである¹²²⁾。

YONEYAMA⁸²⁾¹²³⁾は小麦粉を30°Cで3ヶ月間貯蔵し、pH、微生物、酵素活性、脂肪酸化物、SH基含量等の変化を調べ、SH基の減少を製パン性の変化と関連づけた。TSEN¹²⁴⁾は小麦粉を6年間貯蔵したところ、SH基は最初の1年間に急激に減少しそれ以後はほとんど変化しなかった。ただし小麦粉の水分が8%だとその減少はかなり小さかった。

かびで汚染された小麦粉からはグルテンを採り出し

にくい。また、デンプンゲル電気泳動によるとグルテニンが減少しグリアジン様タンパク質の増加が見られた¹¹⁸⁾。しかし、正常に貯蔵された小麦粉ではグルテニンとグリアジンの変化はほとんどなかった¹²⁵⁾。グルテン以外のタンパク質ではアルブミンはほとんど変化しなかったが、グロブリンとプロチオニンは減少した¹²⁶⁾。

小麦粉の貯蔵中の変化をCHRISTENSEN¹²⁷⁾は次のようにまとめている。小麦粉の脂質は変化を受け易く、かびによりたやすく分解される。グルテンと水溶性区分は貯蔵条件に左右されるが貯蔵初期の段階ではほとんど変化せず、後期になってはじめて損傷を受ける。デンプンは最も安定である。

ま と め

コムギ、小麦粉の貯蔵中の変化に関する研究は多く、特に20世紀前半に精力的に行われ、製パン性との関連で重要視された。しかし結果はまちまちで、いまだに統一の見解はない。それはコムギが生産される年の気候、土壌条件、品種、貯蔵条件による差の方が、貯蔵中の変化よりも大きいことが多いからである。しかも、かび等の微生物の被害を受けると品質の低下が著しい。よく小麦粉の貯蔵中の変化(熟成)が問題にされるが、それよりも大きな要素は原料であるコムギの健全度であり、コムギとしての貯蔵中の変化である。同一銘柄、品種のコムギであっても貯蔵中の変化が異なるものから製粉した小麦粉は厳密には品質的に異なり、熟成に対する挙動も違うはずである。

多くの研究の中ではっきりいえることは、コムギと小麦粉の貯蔵中に変化するのは脂質であり、遊離脂肪酸の増加であるが、これと製パン性の変化の関係は明確では

ない。また、小麦粉の経時的な品質の変化、つまり貯蔵初期の品質改善とある期間経過後の劣化はいくつかの研究グループにより報告されているが、貯蔵初期の品質改善はその程度が少なく製パン性に影響するほどでないこと、また、10年以上も貯蔵した小麦粉から良いパンを得たという報告もいくつかある。

幸いにして我が国で使うコムギ、特にパン用粉原料の硬質コムギは、収穫されてからかなり時間が経ったものであり、コムギの段階で十分に熟成が効いている場合が多い。このようなコムギを使う限り、製粉後3日もすれば実用上は製パン性の変化がほとんどなくなると考えても良いと思う。東京で開催された AACC のセミナーでの質疑応答¹²⁸⁾ がこれを裏付けている。

一方、貯蔵条件さえ良ければ小麦粉はかなり長期間品質を損うことなく保存可能である。その場合、単に温湿度を低く保つだけでなく、微生物や害虫による被害を少なくする配慮も必要である。

文 献

- 1) BAILEY, C.H. and GURJAR, A.M.: *J. Agric. Res.*, **12**, 685 (1918).
- 2) SAUNDERS, C.E.: *Can. Ann. Rep. Exptl. Farms*, 205 (1909).
- 3) SAUNDERS, C.E.: *Can. Ann. Rep. Exptl. Farms*, 168 (1910).
- 4) FITZ, L.A.: *U.S. Bur. Plant Industry Circ.*, No. 68 (1910).
- 5) SAUNDERS, C.E., NICHOLS, R.W. and COWAN, P.R.: *Can. Dept. Agric. Cereal Div. Bull.*, 97 (1921).
- 6) SHELLENBERGER, J.A.: *Cereal Chem.*, **16**, 676 (1939).
- 7) FIFIELD, C.C. and ROBERTSON, D.W.: *J. Amer. Soc. Agron.*, **37**, 233 (1945).
- 8) FIFIELD, C.C. and ROBERTSON, D.W.: *Cereal Sci. Today*, **4**, 179 (1959).
- 9) GEDDES, W.F.: *Food Technol.*, Nov., 7 (1958).
- 10) MITCHELL, J.H. and HENICK, A.S.: Auto-oxidation and antioxidants, Vol. II, ed. by LUNDBERG, W.O. (Interscience, New York), p. 543 (1964).
- 11) BAKER, D., NEUSTADT, M.H. and ZELENY, L.: *Cereal Chem.*, **34**, 226 (1957).
- 12) BAKER, D., NEUSTADT, M.H. and ZELENY, L.: *Cereal Chem.*, **36**, 308 (1959).
- 13) SORGER-DOMENIGG, H., CUENDET, L.S., CHRISTENSEN, C.M. and GEDDES, W.F.: *Cereal Chem.*, **32**, 270 (1955).
- 14) MECHAM, D.K. and MOSSMAN, A.P.: *Cereal Chem.*, **51**, 478 (1974).
- 15) HUTCHINSON: Hydrolysis of lipids in cereals and cereal products (Society of Chemical Industry, London), Monograph No. 11, p. 137 (1961).
- 16) LINKO, P. and SOGN, L.: *Cereal Chem.*, **37**, 489 (1960).
- 17) FELLERS, D.A., MOSSMAN, A.P., JOHNSTON, P.H. and WHEELER, E.L.: *Cereal Chem.*, **53**, 308 (1976).
- 18) DAFTARY, R.D. and POMERANZ, Y.: *J. Agric. Food Chem.*, **13**, 442 (1965).
- 19) POMERANZ, Y.: *Cereal Sci. Today*, **16**, 119 (1971).
- 20) POMERANZ, Y., HALTON, P. and PEERS, F.G.: *Cereal Chem.*, **33**, 157 (1956).
- 21) POPOV, N.F. and TIMOFEEV, L.I.: *Sci. Inst. Cereal Res.*, **11**, 59 (1933).
- 22) GROSS, E.: *Biedermanns Zentr.*, **48**, 395 (1919).
- 23) LEAVITT, S. and LeCLERC, J.A.: *Ind. Eng. Chem.*, **1**, 299 (1909).
- 24) MONTGOMERY, R. and SMITH, F.: *Agric. Food Chem.*, **4**, 716 (1956).
- 25) LYNCH, B.T., GLASS, R.L. and GEDDES, W.F.: *Cereal Chem.*, **39**, 256 (1962).
- 26) GLASS, R.L., PONTE, J.G. Jr., CHRISTENSEN, C.M. and GEDDES, W.F.: *Cereal Chem.*, **36**, 341 (1959).
- 27) LINKO, P., CHENG, Y.Y. and MILER, M.: *Cereal Chem.*, **37**, 548 (1960).
- 28) PIXTON, S.W. and HILL, S.T.: *J. Sci. Food Agric.*, **18**, 94 (1967).
- 29) DUBOIS, M., GEDDES, W.F. and SMITH, F.: *Cereal Chem.*, **37**, 557 (1960).
- 30) TAUFEL, K., ROMMINGER, K. and HIRSCHFELD, W.: *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, **109**, 1 (1959).
- 31) GLASS, R.L. and GEDDES, W.F.: *Cereal Chem.*, **57**, 568 (1960).
- 32) KENT-JONES, D.W. and AMOS, A.J.: Modern Cereal Chemistry (Food trade Press Ltd, London), p. 301 (1967).
- 33) PIXTON, S.W., HYDE, M.B. and AYEAST, G.: *J. Sci. Food Agric.*, **15**, 152 (1964).
- 34) JONES, D.B. and GERSDORFF, C.E.F.: *Cereal Chem.*, **18**, 417 (1941).
- 35) KOZLOVA, L.T. and NEKVASOV, B.P.: *Trudy Tsent. Nauch. Issledovatel Lab. Glavnoe Upravlenie Gosudarst. Material*, No. 4, 60 (1956).
- 36) LINKO, P. and MILNER, M.: *Plant Physiol.*, **34**, 392 (1959).
- 37) LINKO, P. and MILNER, M.: *Cereal Chem.*, **36**, 280 (1959).
- 38) DeVAY, J.E.: *Cereal Chem.*, **29**, 309 (1952).
- 39) LINKO, P. and MILNER, M.: *Cereal Chem.*, **36**, 274 (1959).

- 40) CHENG, Y. -Y.: M. S. Thesis. Kansas State University, Kansas (1958).
- 41) ROHRlich, M.: *Getreide U. Mehl*, 7, 89 (1957).
- 42) LINKO, P.: *Cereal Sci. Today*, 5, 302 (1960).
- 43) LINKO, P.: *Ann. Acad. Sci. Fennicae*, Series A, II, *Chemica*, 98 (1960).
- 44) 梶原景光: 化学と生物, 10, 93 (1972).
- 45) CARTER, E. P. and YOUNG, G. Y.: *U. S. Dept. of Agric. Circ.*, 1950, April, 838.
- 46) OXLEY, T. A. and JONES, J. D.: *Nature*, 154, 826 (1944).
- 47) HYDE, M. B.: *Ann. Appl. Biol.*, 37, 179 (1950).
- 48) CARTER, E. P. and YOUNG, G. Y.: *Cereal Chem.*, 22, 418 (1945).
- 49) CHRISTENSEN, C. M.: *Cereal Chem.*, 32, 107 (1955).
- 50) CHRISTENSEN, C. M.: *Cereal Chem.*, 32, 507 (1955).
- 51) CHRISTENSEN, C. M. and GORDON, D. R.: *Cereal Chem.*, 25, 40 (1948).
- 52) CHRISTENSEN, C. M. and DRESCHER, R. F.: *Cereal Chem.*, 31, 206 (1954).
- 53) GILMAN, J. C. and SEMENIUK, G.: *Trans. Amer. Assoc. Cereal Chem.*, 6, 108 (1948).
- 54) JAMES, N., WILSON, J. and STARK, E.: *Can. J. Res.*, C 24, 224 (1946).
- 55) MILNER, M., CHRISTENSEN, C. M. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 24, 23 (1947).
- 56) MILNER, M., CHRISTENSEN, C. M. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 24, 182 (1947).
- 57) ZELENY, L.: *Trans. Amer. Assoc. Cereal Chem.*, 6, 112 (1948).
- 58) KELLEY, C. F., STAHL, B. M., SALMON, S. C. and BLACK, R. H.: *U. S. Dept. Agric. Circ.*, 1942, April, 637.
- 59) GOLUBCHUCK, M., SORGER-DOMENIGG, H., CUENDET, L. S., CHRISTENSEN, C. M. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 33, 45 (1956).
- 60) PAPAIVAS, G. C. and CHRISTENSEN, C. M.: *Cereal Chem.*, 35, 27 (1958).
- 61) CHRISTENSEN, C. M.: *Cereal Chem.*, 28, 408 (1951).
- 62) HUMMEL, B. C. W., CUENDET, L. S., CHRISTENSEN, C. M. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 31, 143 (1954).
- 63) SORGER-DOMENIGG, H., CUENDET, L. S. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 32, 499 (1955).
- 64) PETERSON, A., SCHLEGEL, V., HUMMEL, B., CUENDET, L. S., GEDDES, W. F. and CHRISTENSEN, C. M.: *Cereal Chem.*, 33, 53 (1956).
- 65) TUIITE, J. F.: *Plant Dis. Rep.*, 43, 470 (1959).
- 66) TUIITE, J. F. and CHRISTENSEN, C. M.: *Phytopathology*, 47, 265 (1957).
- 67) KAUFMANN, H. H.: *Cereal Sci. Today*, 4, 13 (1959).
- 68) BAILEY, C. H.: Chemical Catalog Co., New York (1925).
- 69) JOHNSON, A. C. and HOSENEY, R. C.: *Cereal Chem.*, 57, 92 (1980).
- 70) FISHER, E. A., HALTON, P. and CARTER, R. H.: *Cereal Chem.*, 14, 135 (1937).
- 71) BENNETT, R. and COPPOCK, J. B. M.: *J. Sci. Food Agric.*, 8, 261 (1957).
- 72) SULLIVAN, B., NEAR, C. and FOLEY, G. H.: *Cereal Chem.*, 13, 318 (1936).
- 73) GREER, E. N., JONES, C. R. and MORAN, T.: *Cereal Chem.*, 31, 439 (1954).
- 74) SINCLAIR, A. T. and MCCALLA, A. G.: *Can. J. Res.*, 15 C, 187 (1937).
- 75) MCCALLA, A. G., MCCAIG, J. D. and PAUL, A. D.: *Can. J. Res.*, 17 C, 452 (1939).
- 76) THOMAS, B.: *Z. Ges. Getreidew.*, 27, 7 (1940).
- 77) CUENDET, L. S., LARSON, E., NORRIS, C. G. and GEDDES, W. F.: *Cereal Chem.*, 31, 362 (1954).
- 74) FINE, M. S. and OLSEN, A. G.: *Ind. Eng. Chem.*, 20, 652 (1928).
- 79) HALTON, P. and FISHER, E. A.: *Cereal Chem.*, 14, 267 (1937).
- 80) LAMOUR, R. K., HULSE, J. H., ANDERSON, J. A. and DEMPSTER, C.: *Cereal Sci. Today*, 6, 158 (1961).
- 81) KUHLE, H. and KLIEFOTH, D.: *Mühlenlab.*, 4, 65 (1934).
- 82) YONEYAMA, T., SUZUKI, I. and MUROHASHI, M.: *Cereal Chem.*, 47, 19 (1970).
- 83) BAILEY, C. H. and JOHNSON, A. H.: *Cereal Chem.*, 1, 133 (1924).
- 84) JESSEN-HANSEN, H.: *Compt. Rend. Lab. Carlsberg*, 10, 170 (1911).
- 85) SCHULERUD, A.: *Cereal Chem.*, 10, 124 (1933).
- 86) SHARP, P. F.: *Cereal Chem.*, 1, 117 (1924).
- 87) FIFIELD, C. C. and BAILEY, C. H.: *Cereal Chem.*, 6, 530 (1929).
- 88) GREAVES, J. E. and HIRST, C. J.: *Utah Agric. Exp. Sta. Tech. Bul.*, 194 (1925).
- 89) REIMUND, F.: *Neue Backer u. Konditor-Ztg.*, 11, 158 (1916).
- 90) JOHNSON, A. H. and GREEN, J.: *Cereal Chem.*, 8, 134 (1931).
- 91) CATHCART, W. H. and KILLEN, E. J.: *Cereal Chem.*, 16, 798 (1939).
- 92) SWANSON, C. O., WILLARD, J. T. and FITZ, L. A.: *Kansas Agric. Exp. Sta. Bul.*, 202 (1915).
- 93) KRTINSKY, K.: *Mühlenlab.*, 7, 131 (1937).
- 94) THIessen, E. J.: *Wyo. Agric. Exp. Sta. Bul.*, 198, 3 (1933).
- 95) ARPIN, M. and PECAUD, M. T.: *Ann. Fals.*, 16, 586 (1923).

- 96) STOCKHAM, W.L.: *N. Dak. Agric. Exp. Sta. Bul.*, **120**, 97 (1917).
- 97) PRATT, D.B.Jr.: *Cereal Sci. Today*, **2**, (7), 191 (1957).
- 98) KOZMIN, N.: *Cereal Chem.*, **12**, 165 (1935).
- 99) WATSON, C.A. and SHUEY, W.: *Cereal Chem.*, **54**, 64 (1977).
- 100) COSGROVE, D.J.: *J. Sci. Food Agric.*, **7**, 668 (1956).
- 101) SMITH, D.E. and ANDEREW, J.A.: *Cereal Chem.*, **34**, 323 (1957).
- 102) POMERANZ, Y.: *Storage of Cereal Grains and Their Products*, ed. by CHRISTENSEN, C.M. (American Association of Cereal Chemists, Minnesota), p. 56 (1974).
- 103) ZELENY, L. and COLEMAN, D.A.: *Cereal Chem.*, **15**, 580 (1938).
- 104) BELL, B.M., CHAMBERLAIN, N., COLLINS, T.H., DANIELS, D.G.H. and FISHER, N.: *J. Sci. Food Agric.*, **30**, 1111 (1979).
- 105) CLAYTON, T.A. and MORRISON, W.R.: *J. Sci. Food Agric.*, **23**, 721 (1972).
- 106) MORRISON, W.R.: *J. Sci. Food Agric.*, **29**, 365 (1978).
- 107) BARTON-WRIGHT, E.C.: *Cereal Chem.*, **15**, 723 (1938).
- 108) DAFTARY, R.D., POMERANZ, Y. and SAUER, D.B.: *J. Agric. Food Chem.*, **18**, 613 (1970).
- 109) POMERANZ, Y.: *Critical Rev. of Food Technol.*, **2**, 45 (1971).
- 110) MORRISON, W.R.: *J. Sci. Food Agric.*, **14**, 870 (1963).
- 111) WARWICK, M.J. and SHEARER, G.: *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 316 (1980).
- 112) FENTON, F.C. and SWANSON, C.O.: *Cereal Chem.*, **7**, 428 (1930).
- 113) DAFTARY, R.D., POMERANZ, Y., HOSENEY, R.C., SHOGREN, M.D. and FINNEY, K.F.: *J. Agric. Food Chem.*, **18**, 617 (1970).
- 114) POMERANZ, Y., DAFTARY, R.D., SHOGREN, M.D., HOSENEY, R.C. and FINNEY, K.F.: *J. Agric. Food Chem.*, **16**, 92 (1968).
- 115) SHELLENBERGER, J.A., MILLER, D., FARRELL, E.P. and MILNER, M.: *Food Technol.*, **12**, 213 (1958).
- 116) WARWICK, M.J., FARRINGTON, W.H.H. and SHEARER, G.: *J. Sci. Food Agric.*, **30**, 1131 (1979).
- 117) GRACZA, R.: *Cereal Chem.*, **42**, 333 (1965).
- 118) LONEY, D.P. and MEREDITH, P.: *Cereal Chem.*, **51**, 702 (1974).
- 119) ACKER, L.W.: *Adv. Food Res.*, **11**, 263 (1961).
- 120) SULLIVAN, B.: *Cereal Chem.*, **27**, 661 (1940).
- 121) SULLIVAN, B. and HOWE, M.: *Cereal Chem.*, **15**, 716 (1938).
- 122) ZELENY, L.: *Storage of Cereal Grains and Their Products*, ed. by ANDERSON, J.A. and ALCOCK, A.W. (American Association of Cereal Chemists, Minnesota) p. 46 (1954).
- 123) YONEYAMA, T., SUZUKI, I. and MUROHASHI, M.: *Cereal Chem.*, **47**, 27 (1970).
- 124) TSEN, C.C. and DEMPSTER, C.J.: *Cereal Chem.*, **40**, 586 (1963).
- 125) SHEARER, G., PATEY, A.L. and McWEENEY, D.J.: *J. Sci. Food Agric.*, **26**, 337 (1975).
- 126) PATEY, A.L., SHEARER, G. and McWEENEY, D.J.: *J. Sci. Food Agric.*, **27**, 688 (1976).
- 127) CHRISTENSEN, C.M. and KAUFMANN, H.H.: *Storage of Cereal Grains and Their Products*, ed. by Christensen, C.M. (American Association of Cereal Chemists, Minnesota), p. 158 (1974).
- 128) SIMMONDS, D.H., CRACKNEL, R., TWEED, A.R. and TIPPLES, K.H.: 小麦の化学と技術セミナー (Amer. Assoc. Cereal Chem.・製粉協会共催) 要旨集 p. 39, 東京 (1979).

(昭和56年10月19日受理)