

デンプン化合物の加工性に及ぼす混練条件の影響

著者

Matthias Jährling and Bern Jakob

キーワード

食品押出混練、二軸スクリュウコンパウンディング、プロセス最適化

はじめに

デンプンは、スナック食品、シリアル、ペットフード製品の食品業界で広く使用されている素材です。二軸スクリュウエクストルーダーによるデンプンの加工は、プロセス設計とそれにより生産される最終製品の特性に高い柔軟性を提供します。

スクリュウのセットアップや処理温度、原材料の液体対固体の比率などの押出機のパラメーターが結果として得られる製品特性に大きく影響することから、オペレーターは慎重に選択することを求められます。このアプリケーションノートでは、重要な役割を果たすさまざまなプロセスパラメーターと、それらが最終製品の品質に及ぼす影響を紹介します。

実験

実験には、Thermo Scientific™ Process 11 Hygienic二軸スクリュウエクストルーダーを使用しました。



図1. Thermo Scientific Process 11 Hygienic 二軸スクリュウエクストルーダー



エクストルーダーは衛生グレードのステンレス鋼で作られているため、食品材料の処理に最適です。

エクストルーダーにギャップ高さ1.0 mmの30 mm幅シートダイを取り付けました。押し出されたデンプンシートは、小さなコンベアベルトによって回収しました。サンプルの乾燥を避けるために、20 mm径のディスクを押し出したシートから直ちに切り取り、レオロジー特性を分析しました。

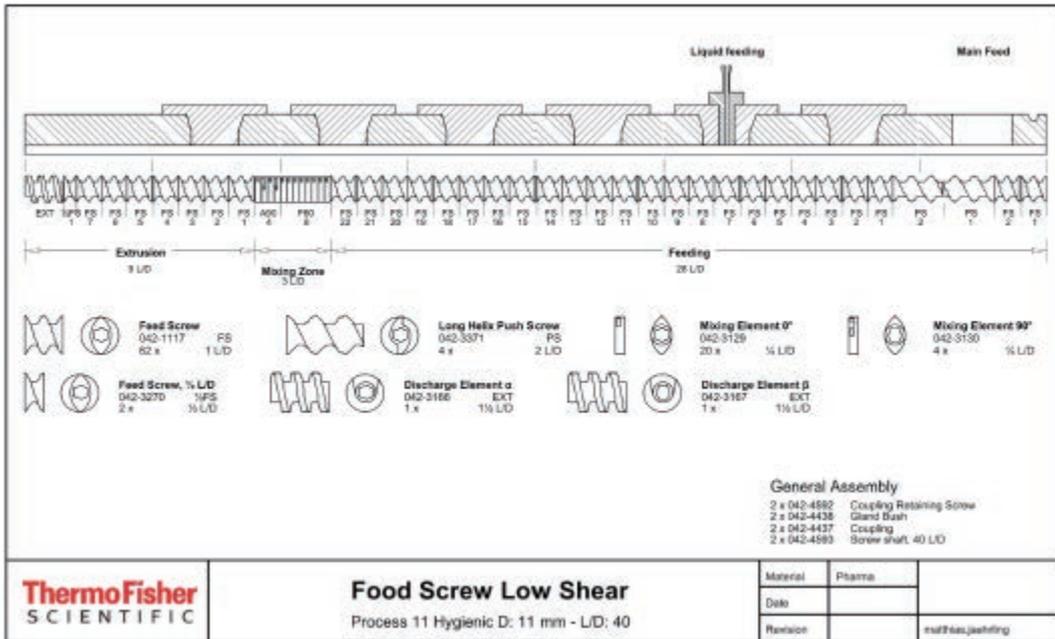
サンプル試作装置

- 二軸スクリュウエクストルーダー：Process 11 Hygienic (図1)
- 冷却水循環装置：Thermo Scientific™ Polarシリーズ Accel 500 LC
- プレミックス材料用フィーダー：減量式MiniTwin MT0 for Process 11
- 液体用フィーダー：Masterflex P/S ポンプシステム
- 押出ダイ：30 mm幅 シートダイ
- サンプル回収システム：Mini Conveyor Belt for Process 11

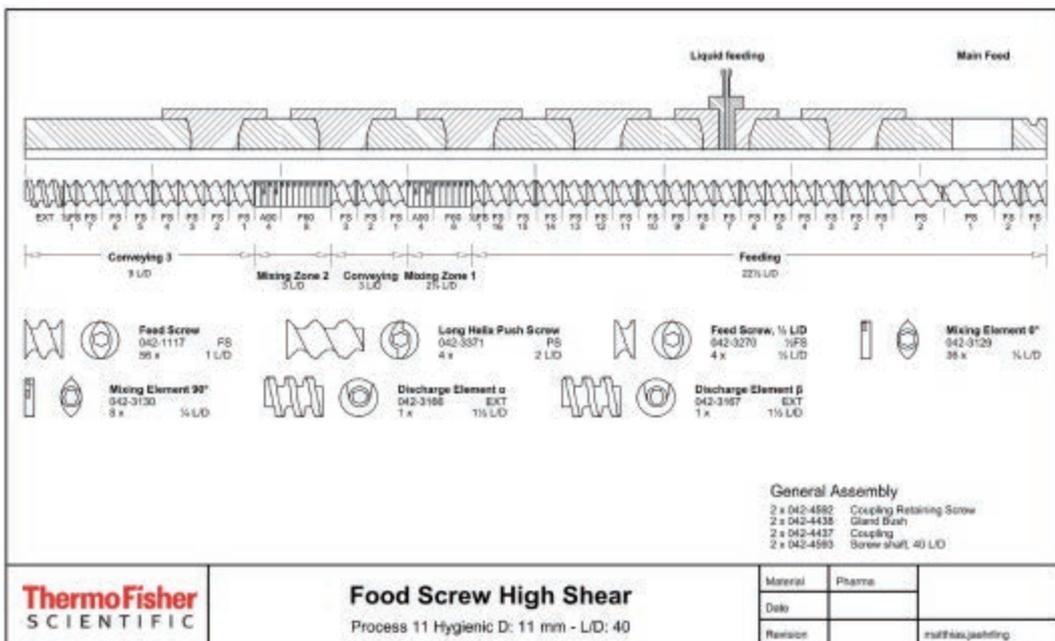
混練押出条件

変数1: スクリュー構成

a) 低せん断スクリュー (“LS”) : 1段階ミキシング



b) 高せん断スクリュー (“HS”) : 2段階ミキシング



レオロジー分析

- レオメーター: Thermo Scientific™ HAAKE™ MARS™ 60
- 温度制御: パルチェ温度モジュール
- 測定ジオメトリー: 20 mm/平行プレート

変数2: 温度プロファイル

表1. 低温プロファイル (“80 °C”)

バレル温度プロファイル “80 °C”									
Zone	Die	9	8	7	6	5	4	3	2
	80 °C	70 °C	70 °C	50 °C	50 °C				

表2. 高温プロファイル (“120 °C”)

バレル温度プロファイル “120 °C”									
Zone	Die	9	8	7	6	5	4	3	2
	80 °C	90 °C	120 °C	120 °C	120 °C	70 °C	70 °C	50 °C	50 °C

変数3: エクストルーダースクリュー速度

- a) 200 rpm
- b) 400 rpm

変数4: 材料供給速度

- a) 540 g/h
- b) 960 g/h

Process 11 Hygienic										
Sample No.	Screw config.	Speed [rpm]	mp [g/h]	Extrusion Temp. [°C]	TM [°C]	P [bar]	TQ [%]	RT [sec]	η* 10 Hz [Pa*s]	
1	Low	200	540	80°C	87	31	24	95	15040	
2	Low	400	540	80°C	94	25	25	78	12170	
3	Low	200	960	80°C	93	41	33	58	15900	
4	Low	400	960	80°C	99	33	28	47	12830	
5	Low	200	540	120°C	113	35	26	99	20990	
6	Low	400	540	120°C	117	32	28	91	20680	
7	Low	200	960	120°C	107	50	28	63	24020	
8	Low	400	960	120°C	115	48	27	51	29090	
9	High	200	540	80°C	86	33	37	110	12960	
10	High	400	540	80°C	98	24	32	92	9194	
11	High	200	960	80°C	93	39	44	70	13970	
12	High	400	960	80°C	99	31	39	56	12250	
13	High	200	540	120°C	113	33	28	110	17300	
14	High	400	540	120°C	119	38	27	75	13160	
15	High	200	960	120°C	103	44	36	68	16830	
16	High	400	960	120°C	115	37	32	57	15840	

図2. テストマトリックスと混練押出試験の結果

試験結果の検討

a) 滞留時間

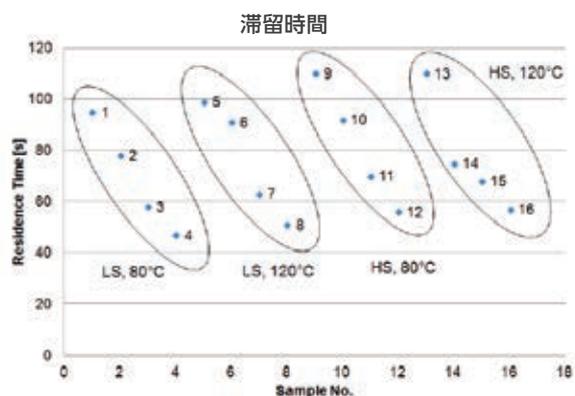


図3. 滞留時間の測定結果

滞留時間は、材料供給ポートから追加したカラートレーサーを測定されました。押し出されたシートに色の変化が見られるまで時間を計測しました。

サンプル温度

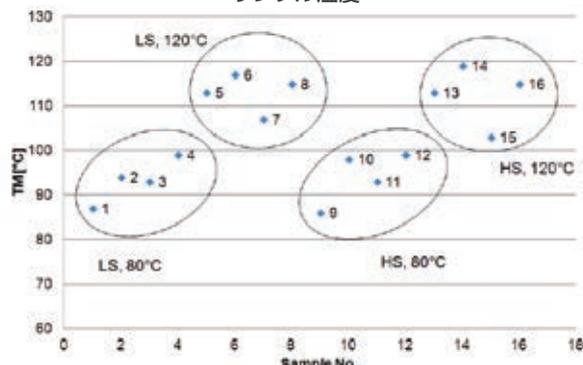


図4. サンプル温度の測定結果

滞留時間測定の結果を図3に示します。

滞留時間は、スクリー速度の増加と材料投入速度の増加とともに短くなりますが、材料投入速度の増加の影響は滞留時間により大きな影響を与えることがはっきりとわかります。

また、混練温度が滞留時間にほとんど影響を与えないこともわかります。スクリー構成の影響はそれほど顕著ではありません。

b) サンプル温度

サンプル温度は、エクストルーダーの端にあるダイアプターに配置された熱電対で測定しました。

図4は、エクストルーダーの温度が高くなるとサンプル温度が上昇したことを示しています。さらに、スクリー速度が速くなると、サンプル温度が高くなります。スクリーの構成が異なっても、サンプル温度には大きな影響はありませんでした。

c) エクストルーダーのトルク

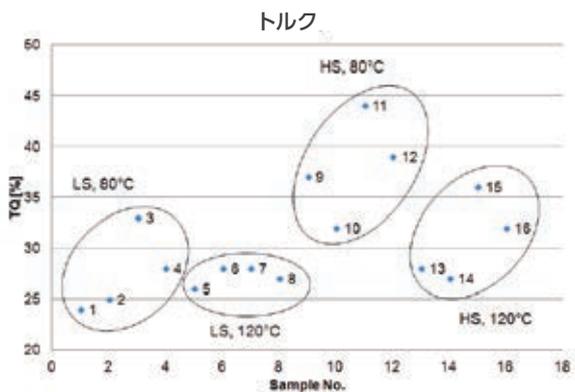


図5. 混練トルクの測定結果

混練トルクの測定では、2つの混合ゾーンを持つ高せん断スクリー構成を使用した場合に、トルクが明らかに増加することが示されました。また、低温ではトルクが高くなることもわかります。同じスクリー速度で材料投入速度が高いほどトルクが大きくなり、スクリー速度が増加するとトルクが減少します。

d) サンプルの粘度

サンプルの粘弾性挙動を測定したところ、興味深く予想外の結果が得られました。サンプルの粘度が最も高いのは、低せん断スクリー構成で120 °Cで押し出されたサンプルです。低せん断スクリー構成の80 °Cでの粘度測定では、80 °Cおよび120 °Cの高せん断スクリーで調製したサンプルと有意差は見られませんでした。この結果の説明として考えられるのは、サンプルが80 °Cでまだ完全にゲル化していなかったが、高せん断スクリー構成で過剰にせん断されていたため、構造的損傷を受けていたということです。

粘度 $|\eta^*|$ 10Hz

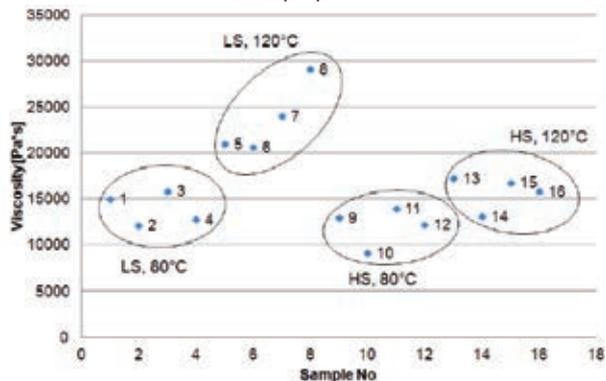


図6. 粘度の測定結果

試験結果は、120 °C、高材料供給速度、高スクリー速度、低せん断スクリー構成での混練押し出しが、最良のゲル化サンプルを作成できることを示しています。

レオロジー分析結果

レオロジー分析は、ペルチェ温度モジュールを備えたHAAKE MARS 60レオメーターを使用して実施しました。全ての試験は、平行プレート測定ジオメトリー：P20/Ti、20 °Cで実施しました。エクストルーダーからサンプルを採取後、乾燥を防ぐために直ちに測定しました。試験片は、20 mmのパンチ穴でシートから切り出しました。まず、1 Hzで γ 0.5~50%の振幅スイープ測定を行い、線形粘弾性領域を決定しました。

図7では、線形粘弾性領域が約 $\gamma = 10\%$ の変形にまで広がっていることは明らかです。連続するすべての周波数スイープについて、 $\gamma = 2\%$ の変形が、0.02~46 Hzの周波数範囲でのテストの設定値でした。再現性を確保するために、80 °Cで押し出された2つの新鮮な試験片を測定しました。

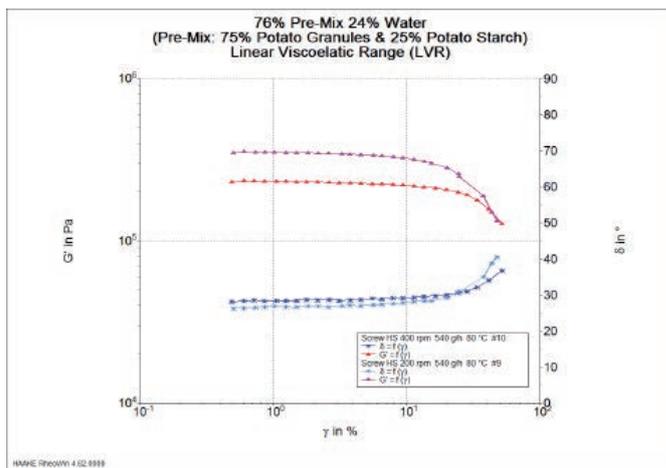


図7. 線形粘弾性領域の決定。高せん断スクリー、材料供給速度540 g/H、80 °C

図8は、2つのテストの結果をプロットしたもので、妥当な再現性を示しています。全ての試験片は、同じ粘弾性挙動を示し、弾性成分 G' は、常に粘性部分 G'' よりも高い値になっています。複素粘度の周波数依存性 $|\eta^*|$ において、サンプルのシアシニングが見られます。これは、他の全てのテストでも同様の傾向でした。

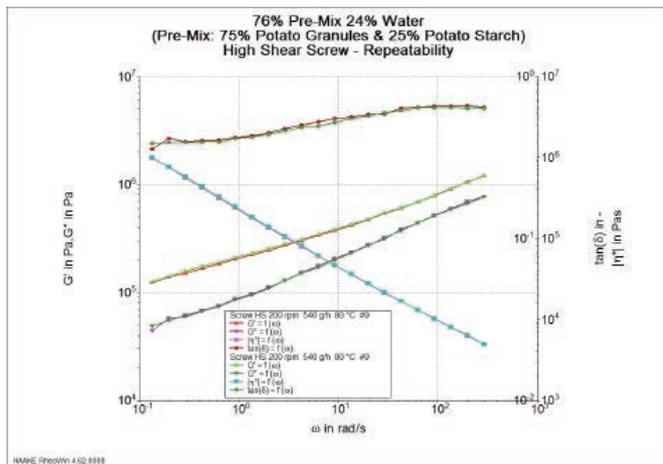


図8. 周波数スイープ測定の再現性。高せん断スクリー、材料供給速度540 g/H、80 °C

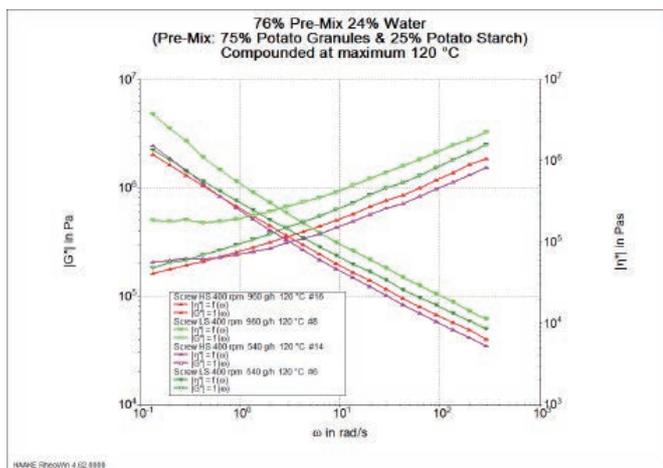


図9. 周波数スイープ測定 - 高せん断スクリー、120 °Cで異なる材料供給速度

低せん断スクリー、120 °Cでの異なる材料供給速度で作成したサンプルの4つの測定結果を図8にプロットします。材料供給速度が540 g/hのサンプルの複素粘度 $|\eta^*|$ と複素弾性率 $|G^*|$ は、スクリー速度とほぼ無関係です。960 g/hへの材料供給速度増加によって、値は増加し、より速いスクリー速度に期待される効果が見えます。低せん断スクリー構成、高い材料供給速度、速いスクリー速度により、最も高い粘度と弾性率が得られ、これが最良のゲル化の指標となります (図6)。

まとめ

デンプンのゲル化は、いくつかの変数に依存する複雑なプロセスです。20%から60%の間の水分濃度の場合、糊化の程度は処理温度に強く依存します[1]。温度が高いほど、糊化はより完全です。

この効果は図6に示されており、液体含有量を26%にした場合、粘度は120 °Cで最高になります。同じ条件下では、2つの混合ゾーンを備えたスクリー構成によって与えられるより高いせん断エネルギーは、ゼラチン化プロセス中のネットワークを劣化させます。

要約すると、デンプンマトリックスの製造に二軸スクリーエクストルーダーを使用すると、ユーザーは必要な製品特性に合わせて適切に設計できるよう、さまざまなパラメーターを設定することができるようになります。二軸スクリー混練押出は、最終製品の質感、安定性、さらなる加工性に影響を与える能力をユーザーに提供します。混練押出と振動レオロジーを組み合わせることで、最終製品の明確で正確な分析が可能になり、今日の食品設計の機能を強化するワークフローが提供されます。

参考文献

1. Fechner, Petra M. „Charakterisierung pharmazeutischer Hilfsstoffe“ 2005; Dissertation at Martin Luther Universität Halle-Wittenberg

詳細はこちらをご覧ください thermofisher.com/extruders

研究用のみ使用できます。診断用には使用いただけません。
© 2024 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved.
All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries unless otherwise specified.
実際の価格は、弊社販売代理店までお問い合わせください。
価格、製品の仕様、外観、記載内容は予告なしに変更する場合がありますのであらかじめご了承ください。
標準販売条件はこちらをご覧ください。 thermofisher.com/jp-tc MC073-A24030B

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社

分析機器に関するお問い合わせはこちら

TEL: 0120-753-670 FAX: 0120-753-671
Analyze.jp@thermofisher.com

thermofisher.com

thermo scientific