

# 113年度

## 食品3D列印衛生管理

東海大學食品科學系  
邱致穎 副教授



衛生福利部  
食品藥物管理署  
Food and Drug Administration

<http://www.fda.gov.tw/>

# 大綱

---

- 食品3D列印如何進行(積層製造/應用)
- 3D列印技術應用於食品材料設計
- 3D列印之「食品材料特性」與衛生管理
- 食品3D列印「製程衛生管理」

---

# 食品3D列印如何進行 (積層製造/應用)

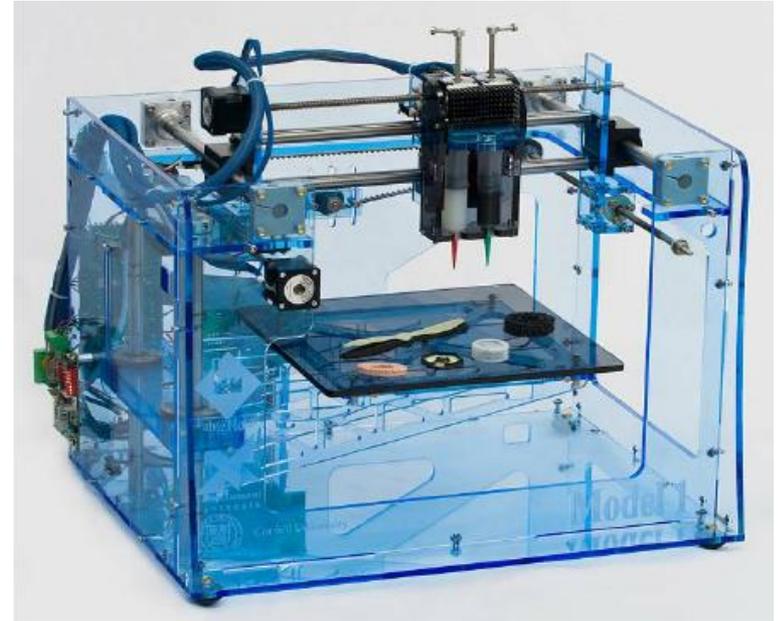
# 什麼是3D列印

- 3D列印（3D printing），又稱立體列印、**增材製造**（Additive Manufacturing，AM）、積層製造，可指任何列印三維物體的過程。
- 3D列印主要是一個不斷添加的過程，在**電腦控制下**層疊原材料。



# 食品3D列印之歷史

- 在食品領域，**康乃爾大學**的研究人員首次報導了用於設計食品結構的3D列印技術，推出了Fab@Home Model 1 作為開源設計3D 列印機，能夠使用**液體食品材料**生產形狀 (Malone and Lipson, 2007, Periard et al., 2007).



Fab@home Fabrication system

2010-2021 application

1980s

1988

1990-2010  
Growth

# 現今的3D列印

- 2010年代，3D 列印機的價格開始下降，使其進入大眾視野。
- 列印機使用的材料也發生了變化，現在有多種塑膠和長絲可供廣泛使用並進入食品領域嘗試使用巧克力或義大利麵等列印材料。
- 2019年，世界上最大的功能性3D列印建築竣工。3D列印近期用於開發助聽器和其他醫療保健應用，許多行業和部門已將該技術應用到日常工作流程中。

1980s

1988

1990-2010

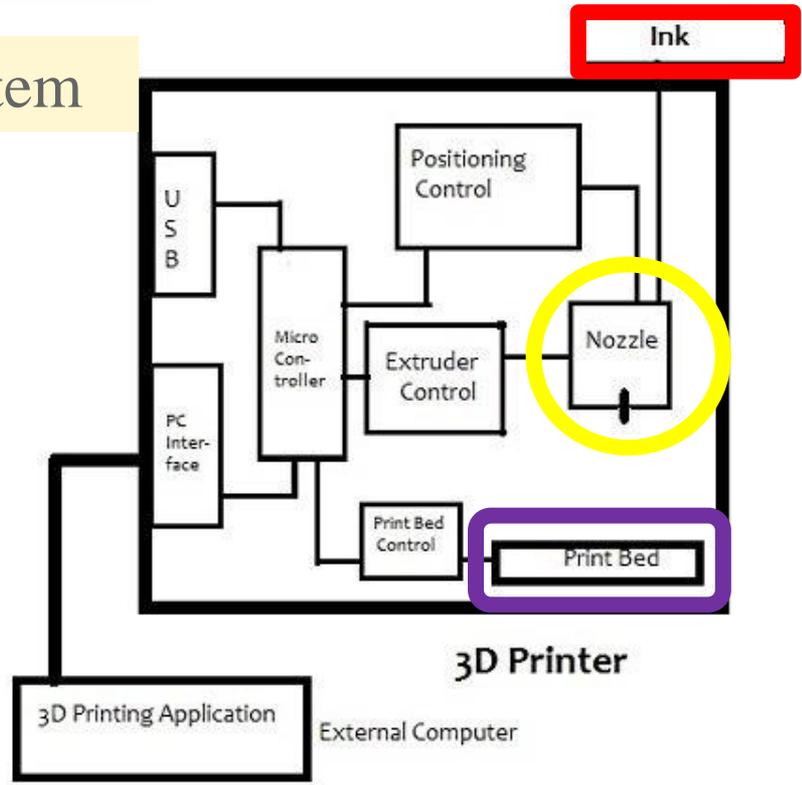
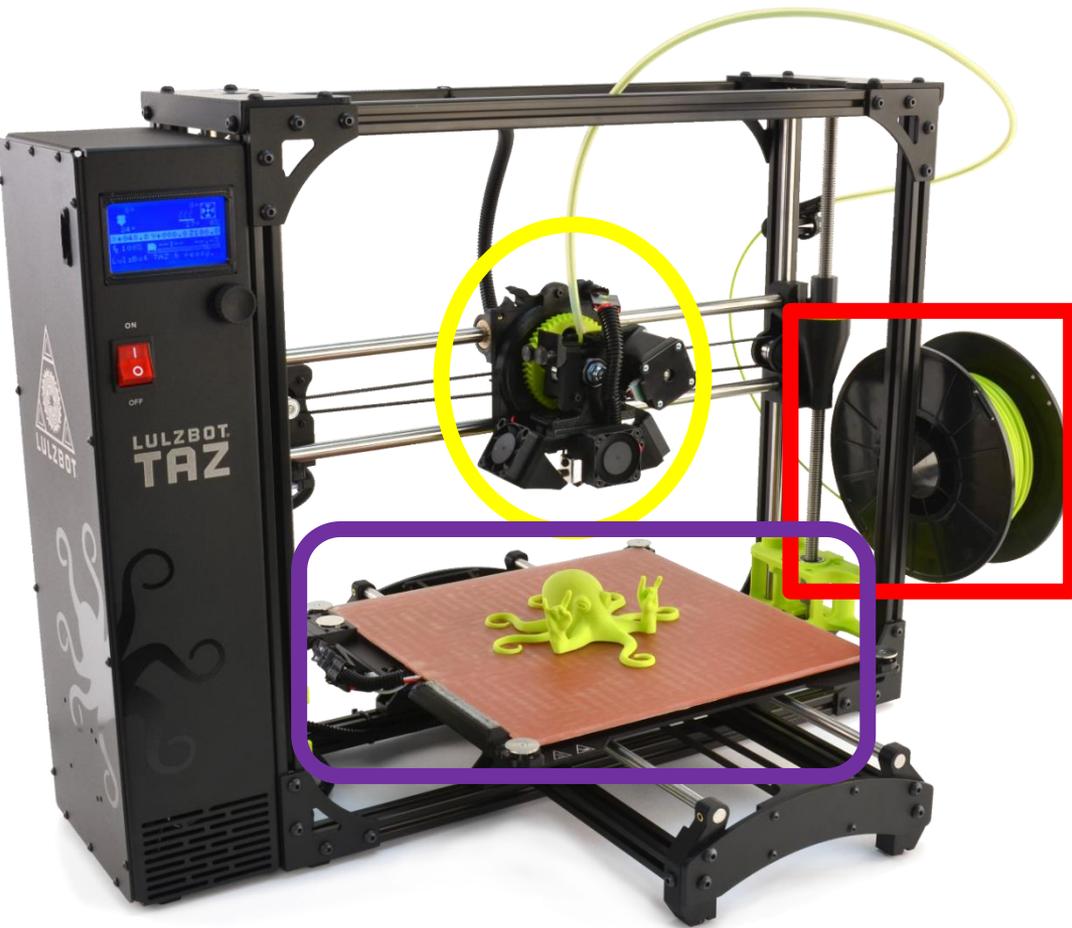
Growth

2010-2023

application

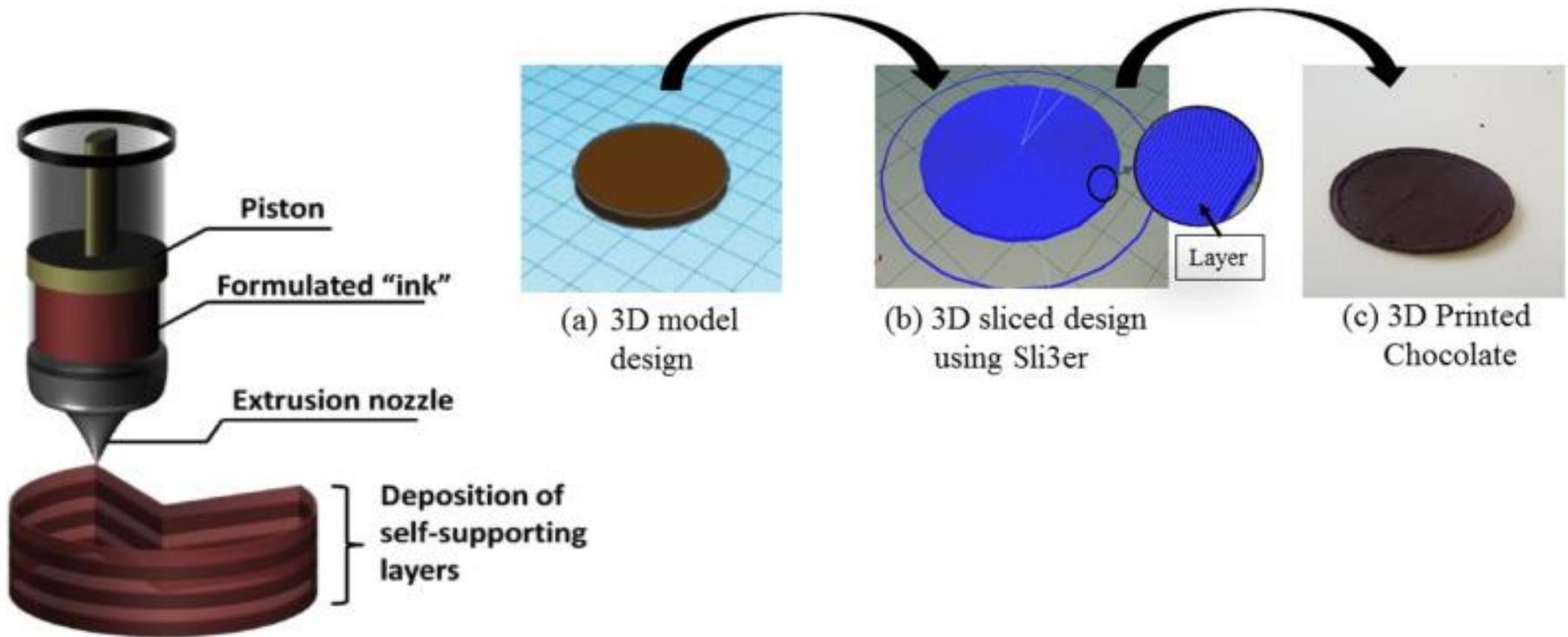
# 3D列印如何進行?

extrusion system



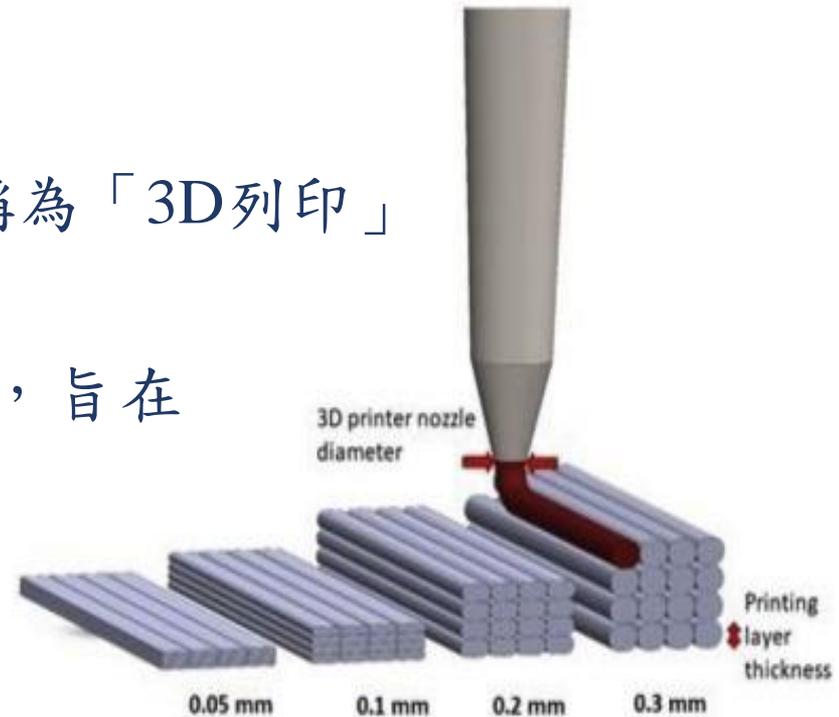
# 3D列印(積層製造)

- 積層製造 (AM) ，可以指任何列印三維流體的製程。
- 3D列印主要是在電腦控制下連續添加、堆疊原料的過程。



# 3D列印(積層製造)

- ✓ 實體自由成型製造 (Solid freeform fabrication, SFF)
- ✓ 應用於建造物理部件或結構
- ✓ 透過材料的逐層沉積，被統稱為「3D列印」
- ✓ 材料：金屬、陶瓷和聚合物，旨在一步製造複雜零件



# 3D列印之應用

學者透過食品生物聚合物、食品奈米技術 研發出未來食物

麻省大學阿默斯特分校食品科學教授麥克萊門斯 ( David Julian McClements ) 說：「食品科學領域正在發生許多令人振奮的改變。我們的科學技術以空前的飛速發展，改變著食品的生產和消費方式。」



德國食品新創公司biozoon製作的3D列印食物。圖片來源 / biozoon

用 3D 列印「印」出日本和牛，油花比例總有一天任君選擇

作者 地球圖輯隊 | 發布日期 2021 年 09 月 12 日 0:00 | 分類 3D列印, 食品科技 [分享](#) [分享](#) [Follow](#)



# 3D列印之應用

以色列成功研製 3D 列印牛排，臍帶取樣可取代畜牧減碳

作者 Unwire HK | 發布日期 2021 年 12 月 13 日 8:45 | 分類 3D 列印, 食品科技



# 3D列印之應用

以色列新創用剩食養出菌絲體蛋白！減少肉製品膽固醇 卻仍保持肉類鮮味

🕒 2023/03/24

51  
👍 讚

0  
👎 不愛

🗨️ 121217 🗨️ 📧 0 📧 0



# 3D列印在食品工業中發揮重要作用



食品工廠



3D 列印



麵包店

多

少

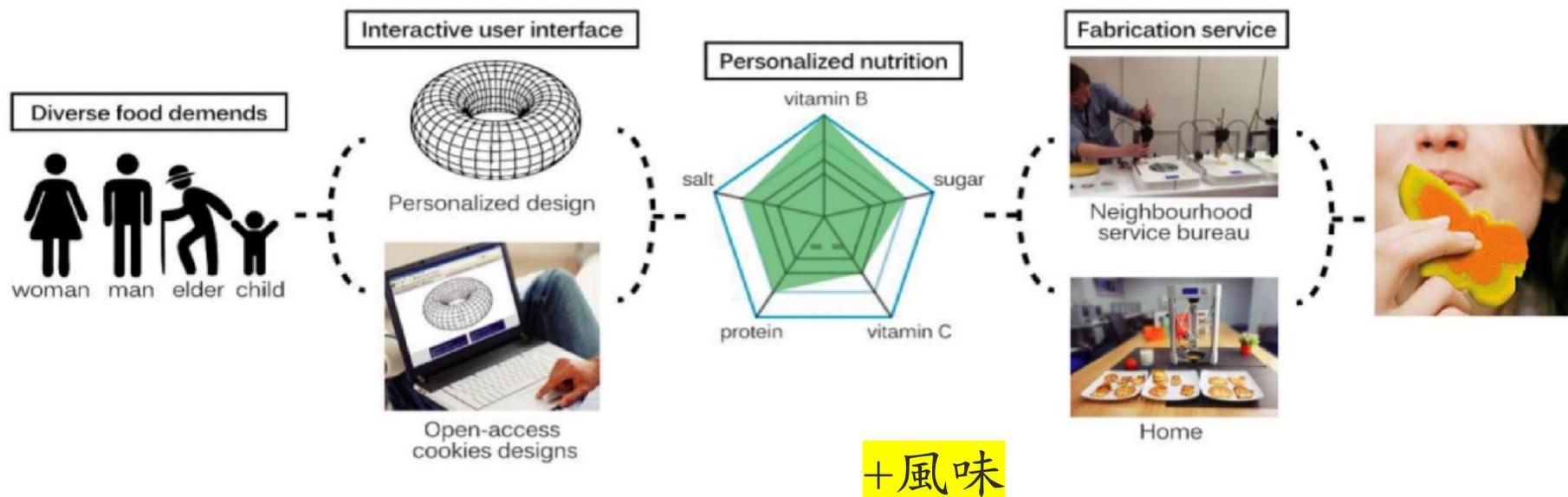
產量

少

多

產品種類

# 3D列印應用在食品中的概念發想



適用於具有客製化化學成分和結構特性以及可延長其保質期特性之加工的新技術。

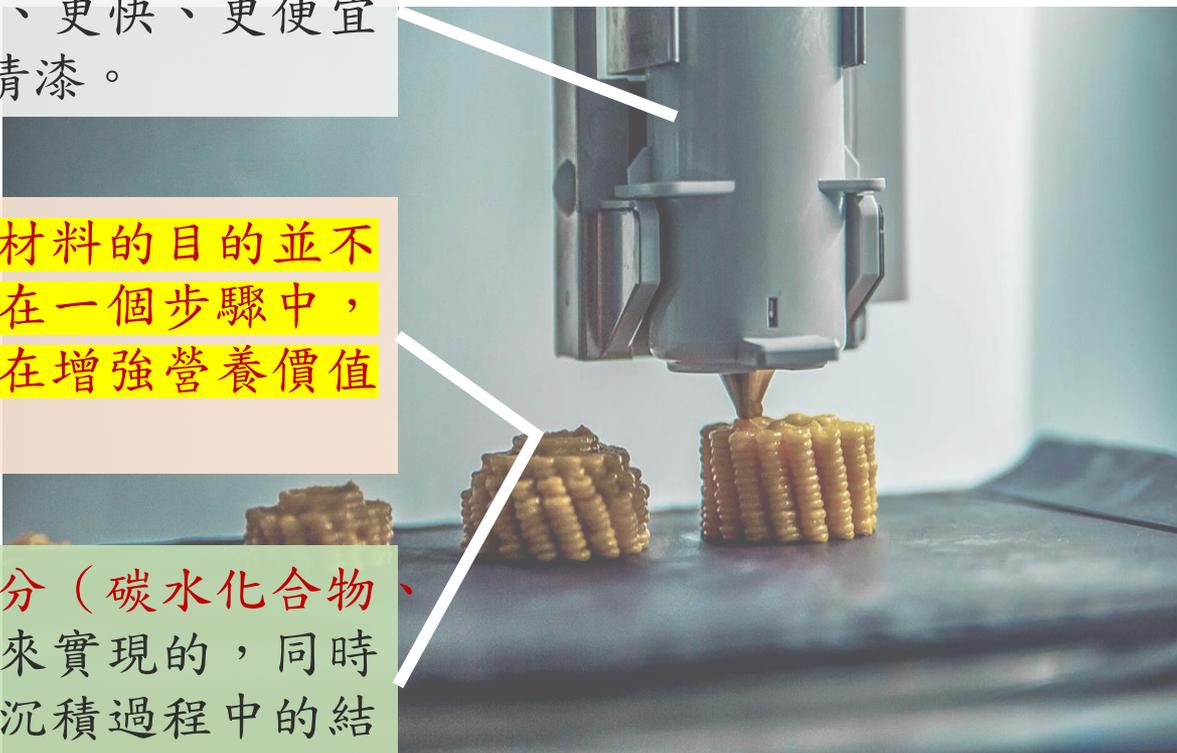
Fig. 8. Schematic diagram of food design and fabrication service.

# 使用感光材質的AM技術不適合設計食品

可固化列印油墨在**食品包裝**領域很有吸引力，因為該領域持續需要更安全、更快、更便宜的油墨、功能性塗層和罩印清漆。

應用積層製造技術列印食品材料的**目的並不依賴於將產品製造過程集中在一個步驟中，而是與設計具有新質地和潛在增強營養價值的食品有關。**

這種方法是透過食物**基本成分**（**碳水化合物、蛋白質和脂肪**）的協同組合來實現的，同時考慮到它們的內在特性和層沉積過程中的結合機制。



---

# 3D列印技術

## 應用於食品材料設計

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

液體基材料的沉積可以透過擠出和噴墨製程進行。

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

粉末結構透過沉積進行列印，然後應用熱源（雷射或熱空氣）或顆粒黏合劑。

### 細胞培養

- 生物列印

細胞培養沉積（生物列印），該技術被應用於列印肉類類似物。

# 擠壓製程

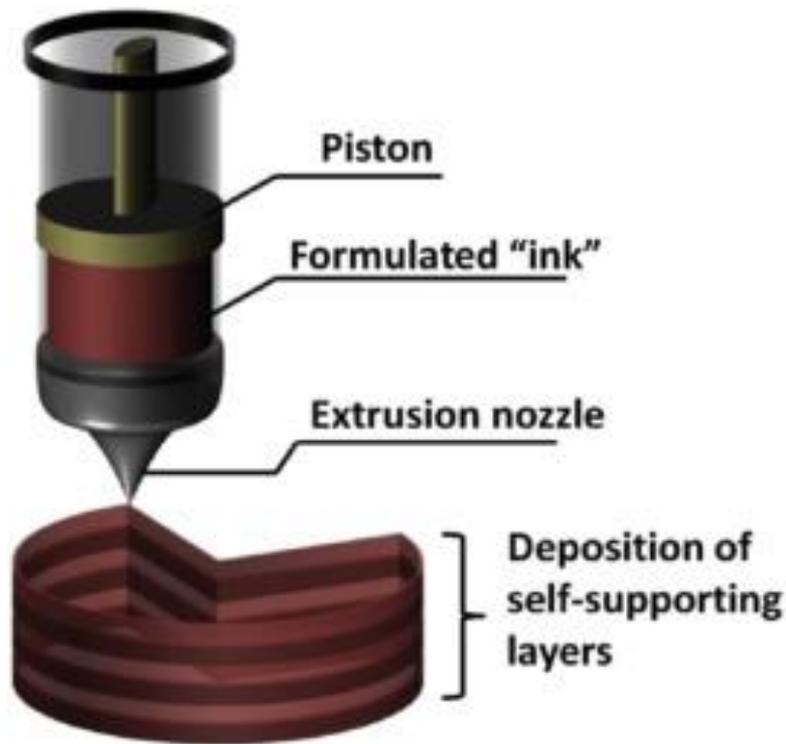
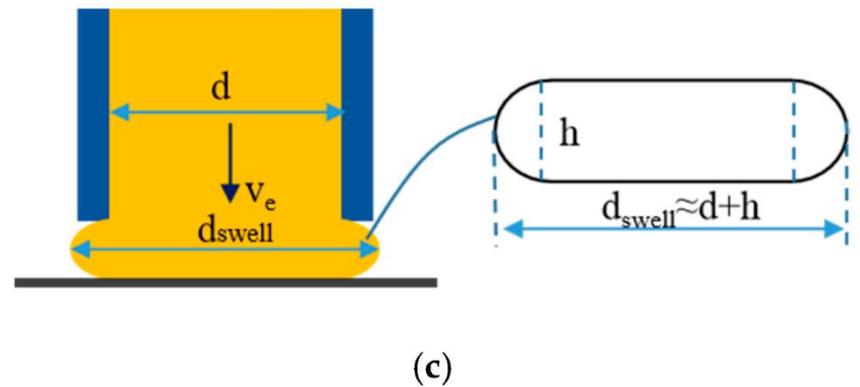
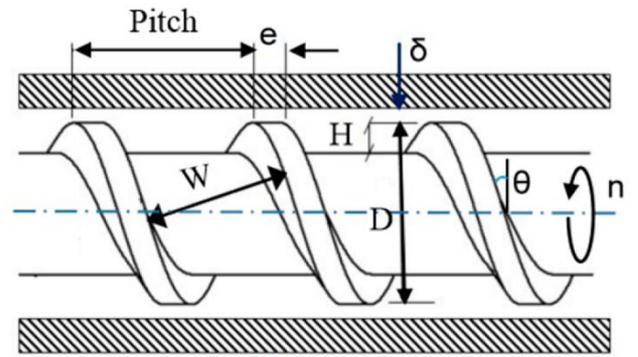
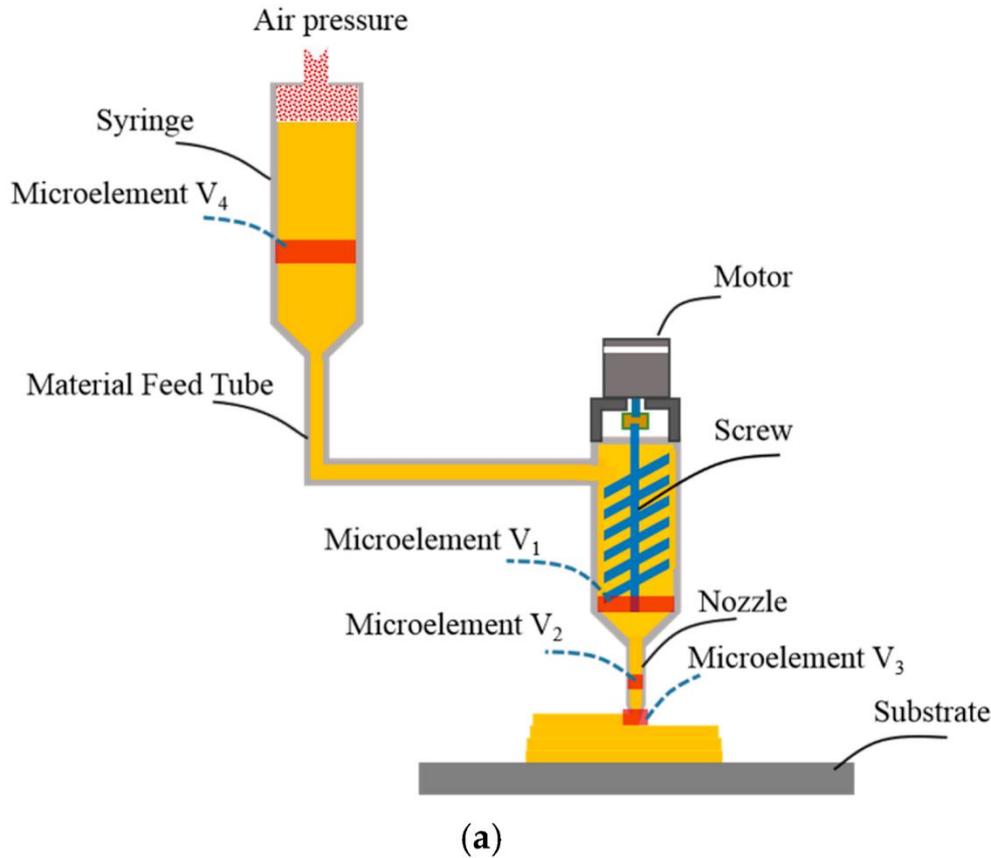


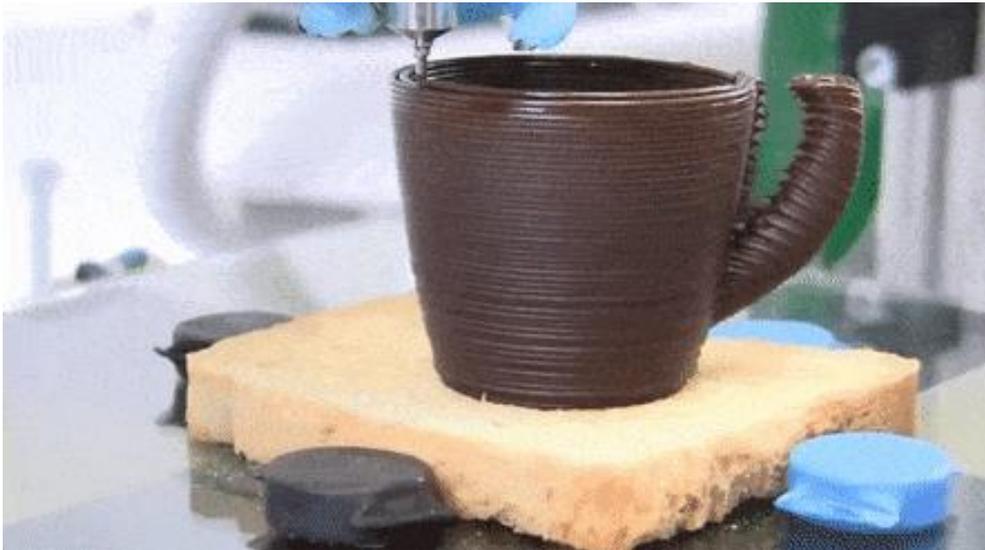
Fig. 1. Schematic diagram of 3D food printing extrusion processes.

- 使用**移動噴嘴**將熱熔長絲聚合物擠出為**連續熔融**，並在冷卻時將其熔合到前一層。
- 圖 1 顯示了 3D 食品擠出製程的示意圖，可以將其視為 FDM 在食品設計領域的應用。
- 在擠出過程中，由食品成分組成的材料墨水被裝入圓筒（擠出機）中。

# 擠壓製程



# 擠壓製程



- 可食用墨水透過液壓活塞產生的力道從噴嘴擠出。
- 根據擠出過程中使用的材料，結合機制可能是透過材料流變特性控制的層層調節、冷卻時固化或形成水凝膠的擠出來發生的。

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

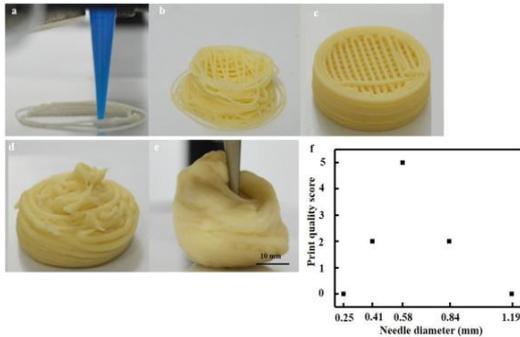
### 細胞培養

- 生物列印

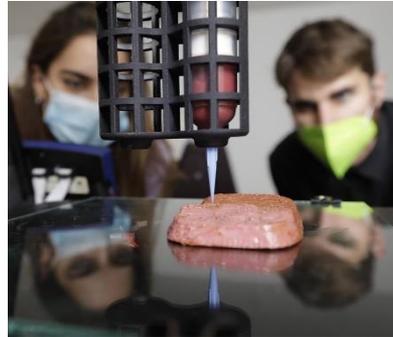
# 軟性材料擠出

應用於透過**混合和沈積**自支撐材料層來列印 3D 結構。

麵團



肉類



披薩



加工起司

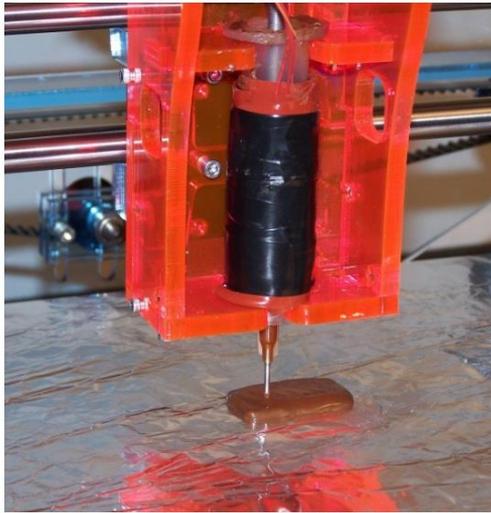


材料的**黏度**至關重要，既要**足夠低**以允許透過細噴嘴擠出，又要**足夠高**以支撐沉積後的結構

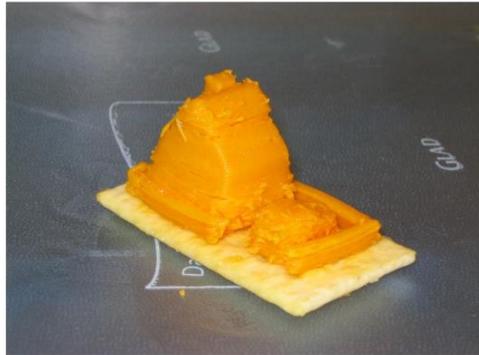
流變改質劑或添加劑可用於達到所需的**流變特性**，但必須符合**食品安全標準**。

# 軟性材料擠出

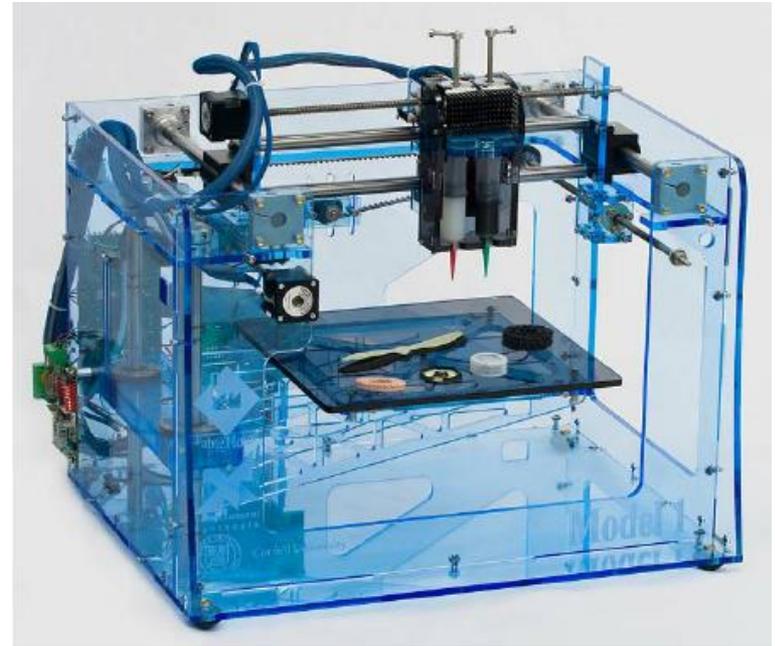
使用 Fab@home Fabrication 系統在室溫下應用擠壓來列印蛋糕糖霜和加工乳酪 (Periard et al., 2007).



**Figure 9** – The Fab@Home Model 1 1-Syringe Tool, modified with a resistance heater to enable temperature-controlled dispensing of chocolate.



**Figure 7** – A house made of spray cheese, complete with a fence and car in the driveway.



Periard et al. (2007)

# 軟性材料擠出

測試了多種含糖餅乾的配方，並使用相同的系統進行列印。奶油、蛋黃和糖等成分濃度的變化對於形成可自然列印的麵團和耐烹飪有重要作用。

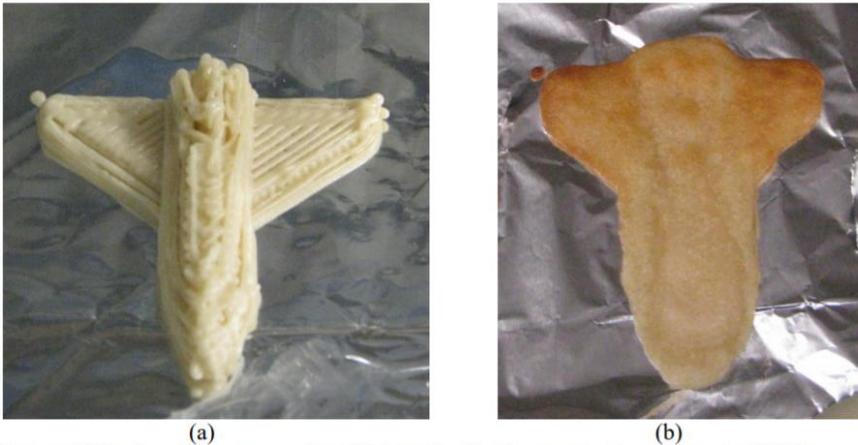


Figure 1: Common cookie recipes are printable(a), but the printed geometries do not survive backing(b).

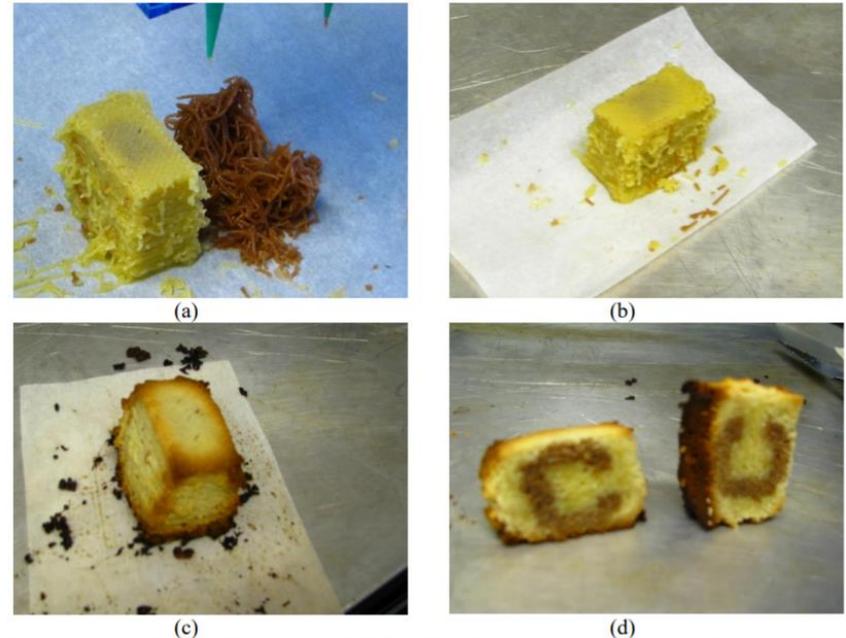


Figure 2: A prism shaped cookie with an embedded extruded C shaped was printed using a Fab@Home (a). The cookie was chilled to stabilize the geometry (b) and then baked(c). While the exterior slumped slightly(c), the interior geometry was preserved.(d)

Lipton et al. (2010)

# 軟性材料擠出

使用轉麩胺酸基胺基酶和**培根脂肪**作為**添加劑**，分別製作可列印的**扇貝**和**火雞肉泥**。所得肉製品在烹飪後保持形狀 (Lipton et al., 2010).

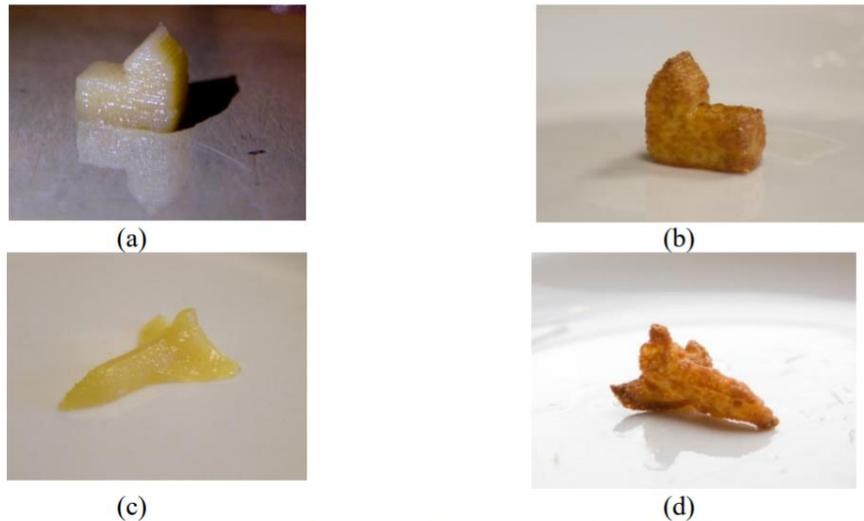


Figure 3: Two test geometries were printed, a truncated L(a) and a space shuttle(c). Both shapes were deep fried and retained most of their shape(b)(d), only thin regions deformed due to deep frying (d).

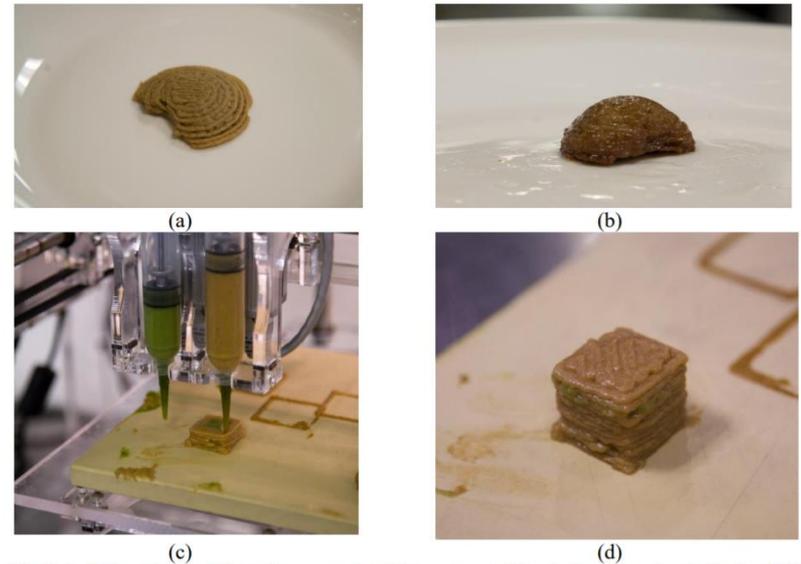
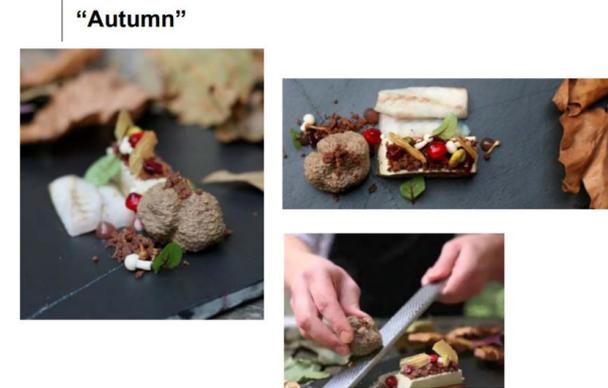
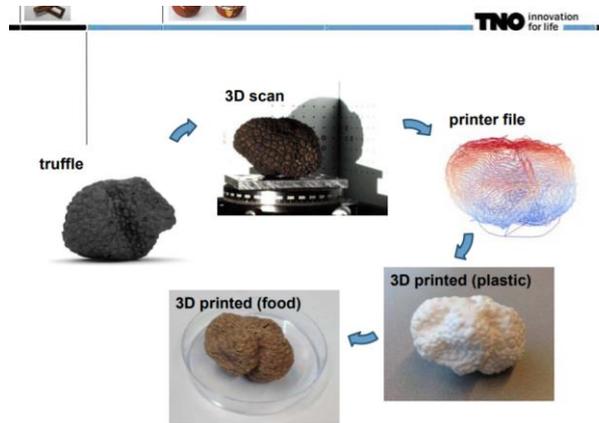


Figure 4: Turkey with transglutaminase was printed into a truncated hemisphere(a) and cooked sous-vide(b). The overall shape survived cooking, but the meat did contract inwards causing it to bow. Celery fluid gel (green fluid in c) was printed into a turkey cube (d).

Lipton et al. (2010)

# 軟性材料擠出

荷蘭應用科學研究組織 (TNO) 的科學家還採用基於擠壓的工藝，利用必需的**碳水化合物、蛋白質、肉泥**以及從**藻類和昆蟲**等替代來源中提取的其他營養物質來列印各種食品 (Van der Linden, 2015).



# 軟性材料擠出

Natural Machines 創造了Foodini食品列印機，  
可以擠出新鮮食品原料來設計。  
擠出的成分用於表面填充和圖形裝飾(Chang  
et al., 2014, Kuo et al., 2014).



圖 2 為使用3D擠出技術應用於列印麵食配方、  
豬肉泥和披薩麵團。

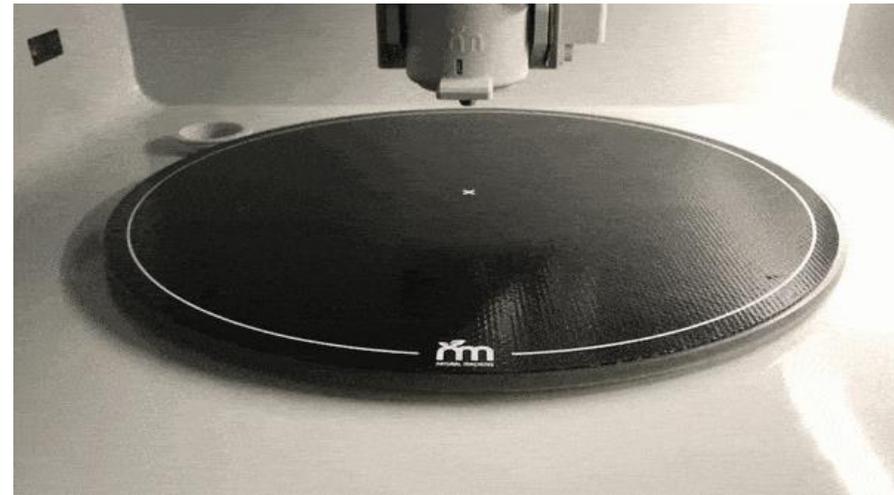
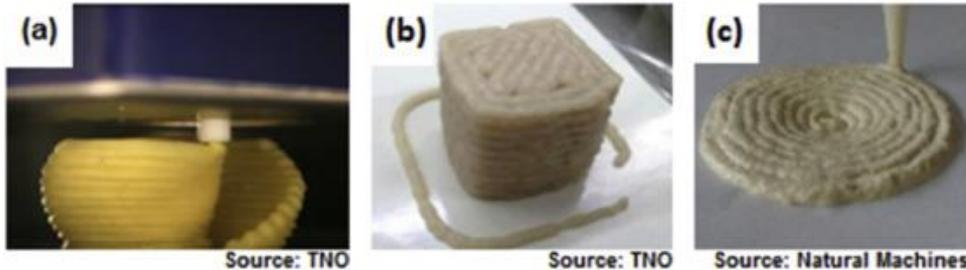


Fig. 2. Examples 3D printing technique based on soft-material extrusion: (a) pasta recipe (Van der Linden, 2015), (b) pork puree (Van Bommel, 2014) and (c) pizza dough. Image (c) was reproduced with permission of Natural Machines from data available at <https://www.naturalmachines.com/press-kit/#>.

# 未來的肉不是肉! 3D列印人造肉夯 連和牛都複製



資料來源: TVBS

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- **熔融擠出**
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

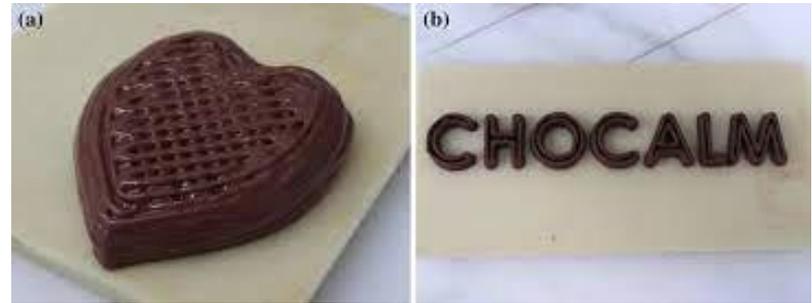
- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

- 生物列印

# 熔融擠出

用於列印巧克力3D物體，  
溫度範圍約28°C至40°C。



(Hao et al., 2010a, Hao et al., 2010b, Schaal, 2007).

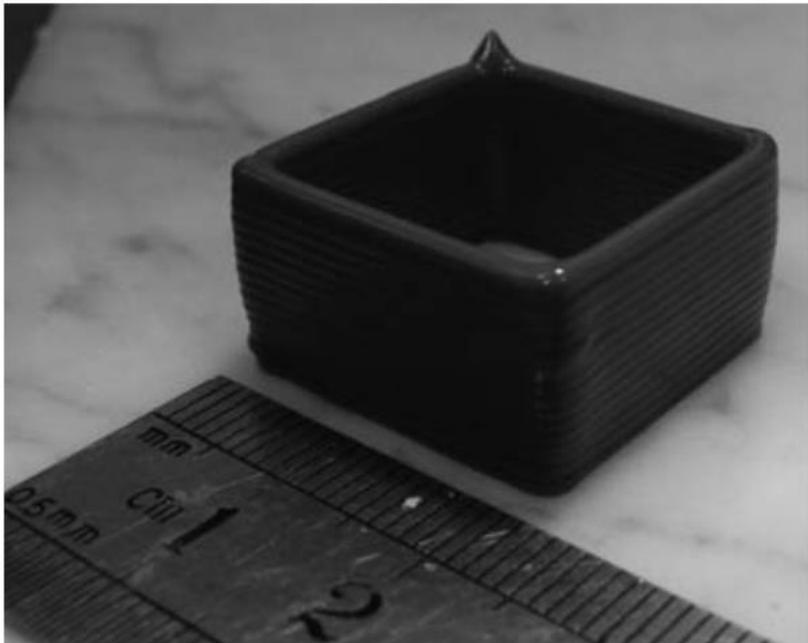


Figure 4. The chocolate square with good layer-by-layer bond and geometry accuracy.



Figure 5. The chocolate square with poor geometrical accuracy.

# 熔融擠出

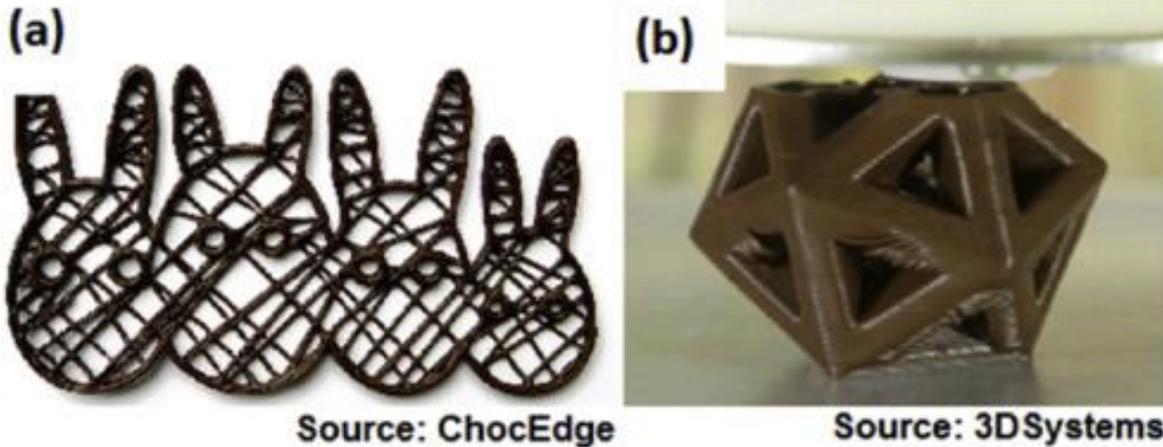


Fig. 3. Examples of 3D printing technique based on melting extrusion: chocolate constructs printed by (a) ChocEdge and (b) 3DSystems (3DSystems, 2015). Image (b) was reproduced from data available at <http://www.chocedge.com/creations.php>.

- Hao領導的研究小組的專業知識促成了埃克塞特大學的衍生公司 ChocEdge Ltd 的成立，該公司率先實現了 3D 巧克力印表機的商業化。圖 3a 顯示了 ChocEdge 3D 列印巧克力的範例。
- 多年來，許多公司利用巧克力擠出來建造 3D 物體，例如 Foodini、TNO，最近 3D Systems 與好時公司合作，在 3D 巧克力糖果列印展（2014 年）上推出了 CocoJet™，作為突破性的 3D 巧克力列印機，能夠建構 3D 形狀的自支撐層，如圖 3b 所示 (3DSystems, 2015)。

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- **水凝膠形成擠出**
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

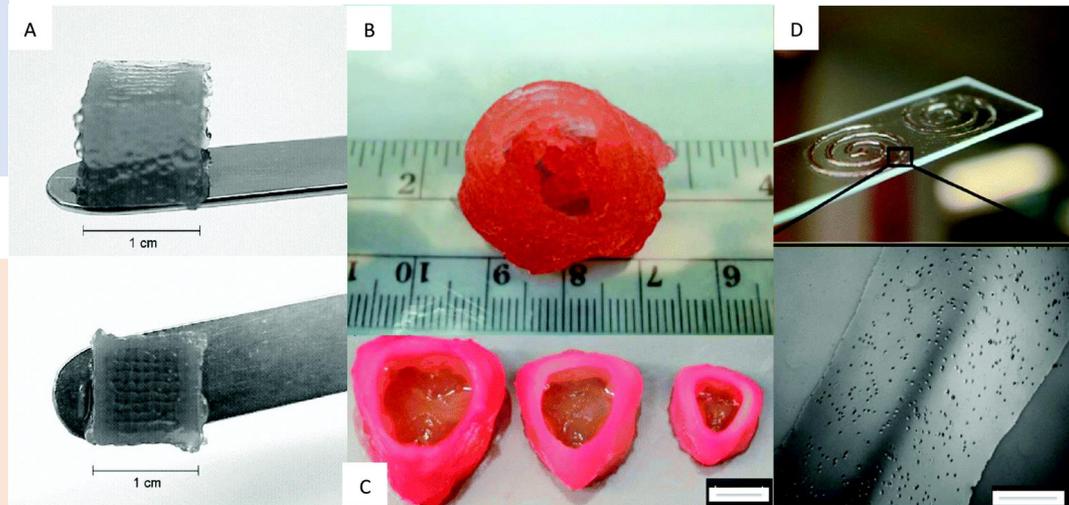
- 生物列印

# 水凝膠形成擠出

水凝膠形成材料是否能擠出取決於聚合物的流變特性和凝膠形成機制。

聚合物溶液應呈現黏彈性特性，並在連續層沉積之前變成自支撐凝膠。

為了防止聚合物溶液在列印機內過早凝膠化，必須對凝膠化機制進行暫時控制。



# 水凝膠形成擠出

Cohen 等人報告了親水膠體與食品成分的結合。(2009)

在不同質地和口味的平板上將澱粉、蛋白質等組成可列印食品材料。

測試了兩種親水膠體：三仙膠和明膠，去模擬了廣泛的口感。由三仙膠和明膠之間的混合物形成的複合凝聚層顯示出顆粒度，這是在測試原始親水膠體時未觀察到的

這種行為可以透過聚陽離子（三仙膠）和兩性聚合物（明膠）之間的組合的水凝膠形成機制來解釋。

Most Firm	4% gelatin <b>CLOSE TO CHOCOLATE/ MUSHROOM</b>					
		16% xanthan <b>COOKED SPAGHETTI</b>				
				1% gelatin 8% xanthan <b>CLOSE TO TOMATO</b>		
Weakest	2% gelatin <b>JELL-O</b>	2% gelatin 8% xanthan <b>CLOSE TO CAKE ICING/ MERINGUE</b>	0.5% gelatin 8% xanthan <b>CLOSE TO CAKE ICING/ MERINGUE</b>			
		4% xanthan <b>MASHED POTATO</b>				
	1% gelatin <b>SELF-SUPPORTING LOOSE GEL</b>					
	2% xanthan <b>NON-SELF-SUPPORTING LOOSE GEL</b>			0.5% gelatin 4% xanthan <b>APPLE SAUCE</b>	1% gelatin 4% xanthan <b>RISOTTO</b>	
	0.5% gelatin <b>MILK</b>					
	Smoothest		Most Granular			

**Table 2** Mouthfeel matrix of hydrocolloid mixture showing the formulations in the appropriate locations relative to common foods (see Table 1 for more detail) with the closest common foods are listed below the hydrocolloid concentrations in bold

Cohen et al. (2009)

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- **噴墨列印(IJP)**

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

- 生物列印

# 噴墨列印(IJP)

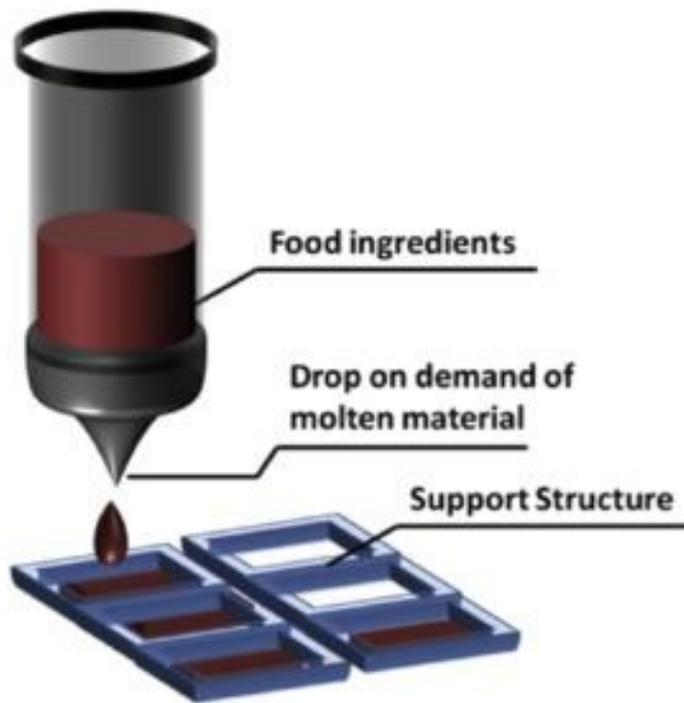


Fig. 5. Schematic diagram of Inkjet printing technology.

- 此技術為將液體分配到層上，為按需滴料擠出 (drop-on-demand deposition) (Grood and Grood, 2011, Grood et al., 2013).
- 該技術以 FoodJet 列印的名稱進行商業化，並使用一系列氣動薄膜噴嘴，將微小的液滴分層到移動的物體上 (FoodJet, 2015).
- 噴墨列印機通常處理低黏度材料
- 典型的沉積材料有：巧克力、液體麵團、糖霜、肉醬、起司、果醬、凝膠等 (圖6)。(Kruth, 2007).

# 噴墨列印(IJP)



Source: FoodJet



Source: FoodJet



Source: FoodJet

Fig. 6. Examples of 3D printing technique based on inkjet technology: (a) graphical decoration, (b) surface filling and (c) cavity deposition. Images (a), (b) and (c) were reproduced from data available at <http://foodjet.com>.

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- **粉末黏合沉積**
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

- 生物列印

# 粉末黏合沉積

繼擠出製程之後，粉末黏合沉積是 3D 食品列印中第二受歡迎的系統。

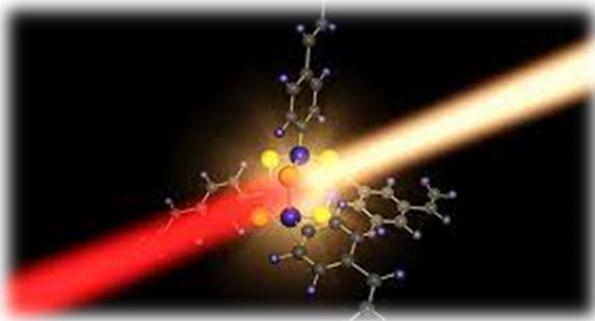
選擇性雷射燒結  
(SLS)

選擇性熱風燒結和  
熔化(SHASAM)

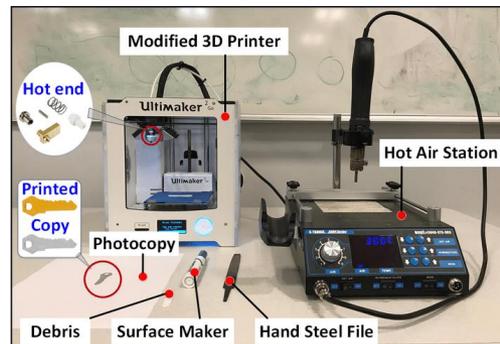
液體結合(LB)

## 熱源

- 紅外線雷射



- 熱風



層固化過程中無相變：液體黏合劑被套印到連續累積的粉末層上，如定向融合一樣 (Wegrzyn et al., 2012).

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

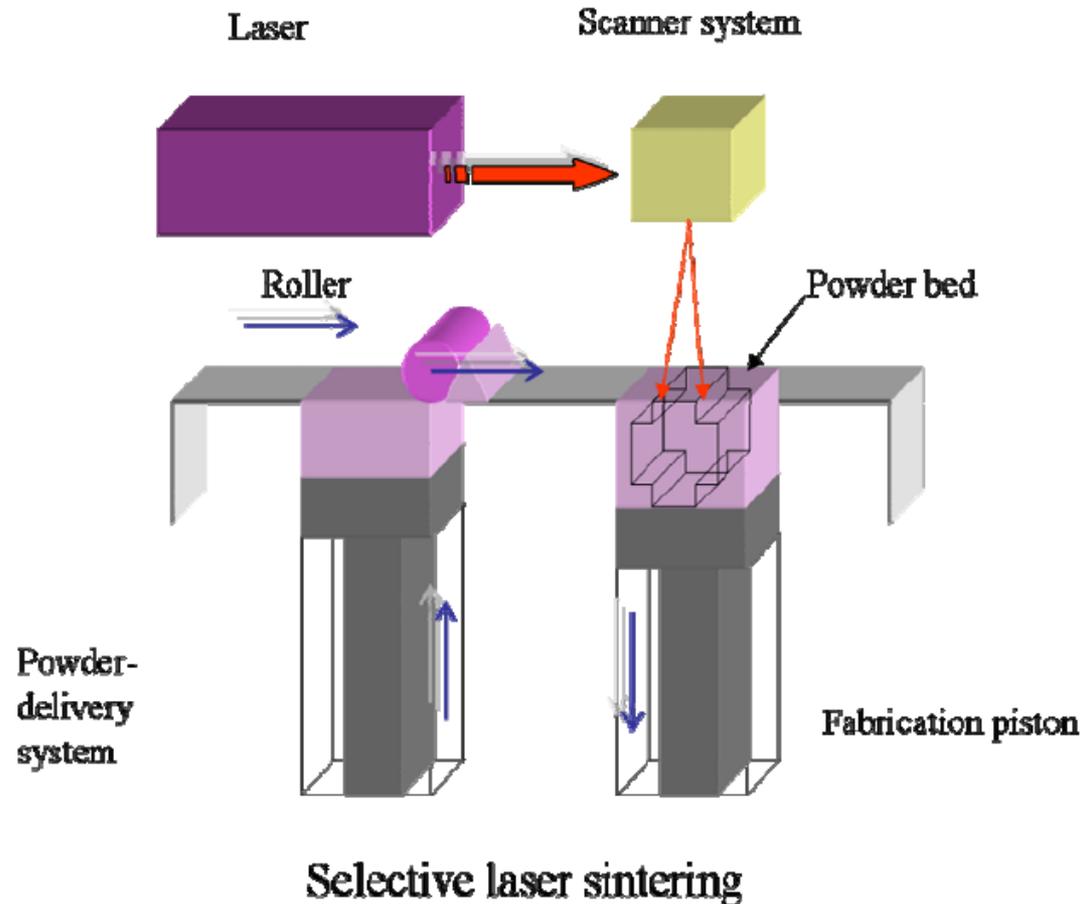
- 粉末黏合沉積
- **選擇性雷射燒結 (SLS)**
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

- 生物列印

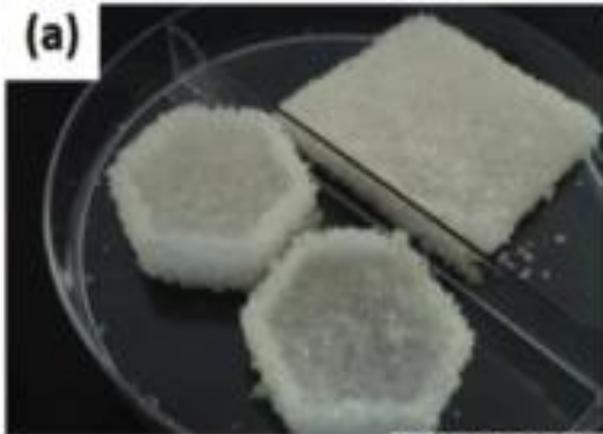
# 選擇性雷射燒結 (SLS)

- 透過雷射掃描橫截面將顆粒粉末床的特定區域融合在一起。
- 再將粉末床降低一層厚度，在頂部沉積一層新的顆粒，重複該過程直到物體最終成型。



(Diaz et al., 2014b)

# 選擇性雷射燒結 (SLS)



Source: TNO



Source: TNO



Source: TNO

Fig. 8. Examples of 3D printing technique based on SLS technology: (a) Sugar, (b) Nesquik and (c) Curry Cube, Paprika Pyramid, Cinnamon Cylinder and Peppercorn Pentagon constructs printed by TNO (Van Bommel, 2014).

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- **選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)**
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

- 生物列印

# 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)

- CandyFab 機器是 Evil Mad Scientist Laboratories 的一個項目，使用 SHASAM 技術來列印糖基 3D 物件
- 首先，將略低於粉末床的一層薄而平坦的顆粒鋪展到床的頂部，並選擇性地融合新層中的介質。



Source: Toroidal coil sculpture of sugar by Windell H. Oskay.

Fig. 10. Example of 3D printing technique based on SHASAM technology. Image reproduced with permission from Windell H. Oskay, [www.evilmadscientist.com](http://www.evilmadscientist.com).

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- **液體黏合 (LB)**

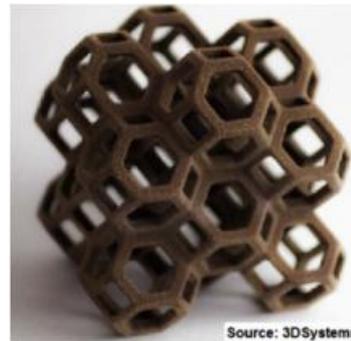
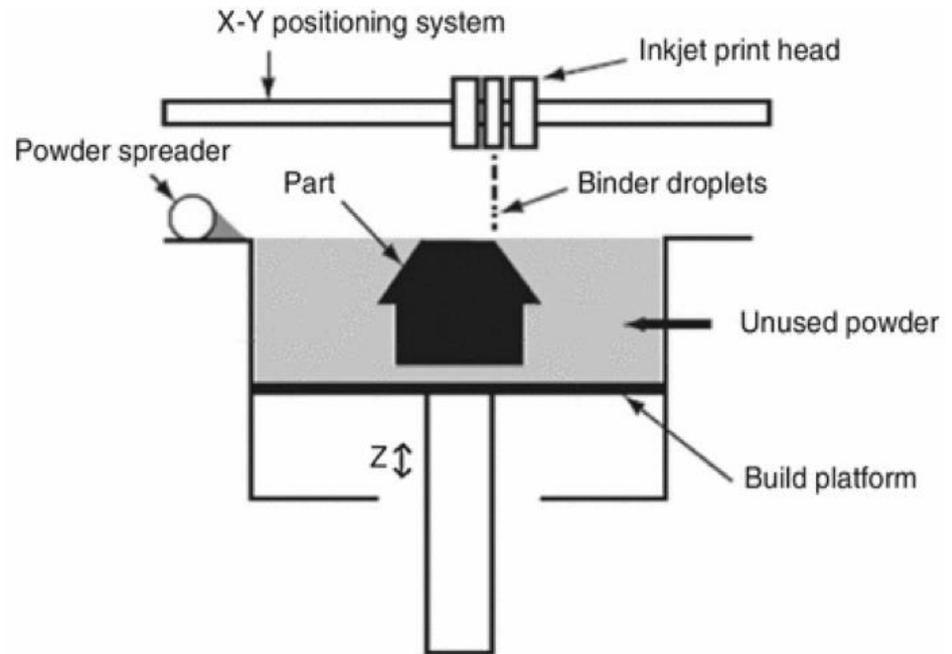
### 細胞培養

- 生物列印

# 液體黏合 (LB)

- 在液體黏合製造過程中，液體黏合劑透過按需滴墨列印頭按照電腦 3D 模型產生的切片 2D 輪廓噴射到薄薄的粉末層上。
- 黏合劑在將相鄰顆粒連接在一起從而形成 3D 結構方面發揮著重要作用。

(Peltola et al., 2008)



3DSYSTEMS 的 ChefJet 列印機，它使用 Z-Corp 噴墨工藝來生產各種糖果配方，包括各種口味的糖和酸甜糖果，如雕塑般的糖果。如右圖 (Von Hasseln et al., 2014).

# 3D列印技術應用於食品材料設計

## 3D 列印技術

### 流體

- 軟性材料擠出
- 熔融擠出
- 水凝膠形成擠出
- 噴墨列印(IJP)

### 粉末

- 粉末黏合沉積
- 選擇性雷射燒結 (SLS)
- 選擇性熱風燒結和熔化 (SHASAM)
- 液體黏合 (LB)

### 細胞培養

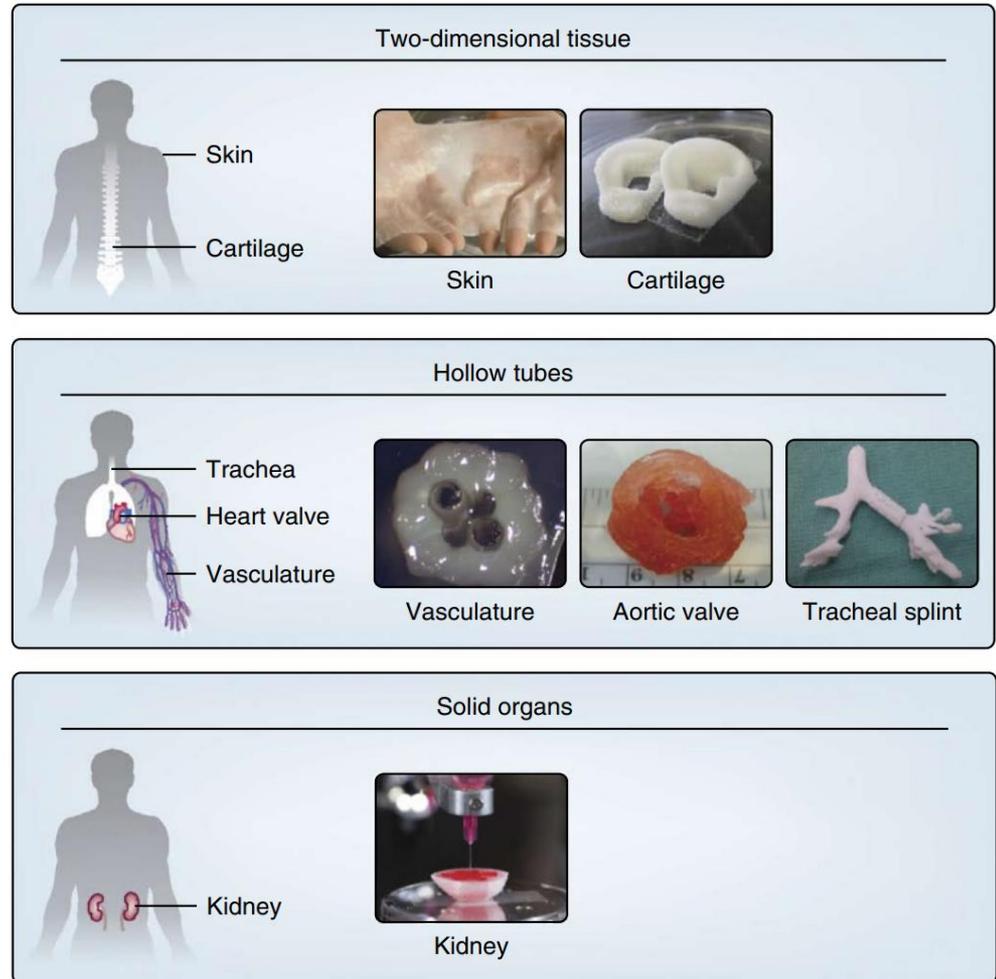
- 生物列印

# 生物列印

生物列印最初用於在沒有任何基於**生物材料**的**支架**的情況下**建造組織**。

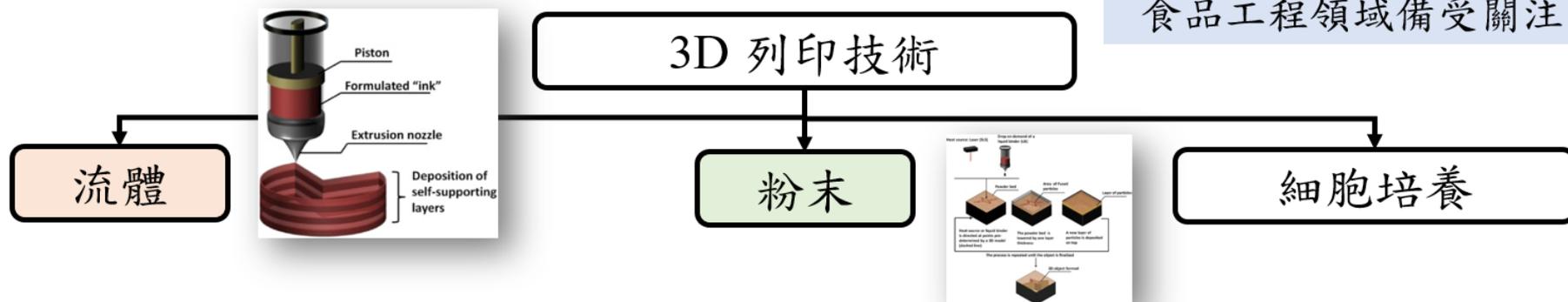
該技術依賴生物材料的精確**逐層沉積**和活細胞的培養。

用於**生物材料**沉積和圖案化的最常見技術是噴墨、微擠壓和雷射輔助印刷。  
(Murphy and Atala, 2014).



# AM 技術的優點/ 限制以及 3D 食品結構的理想最終用途特性

食品工程領域備受關注



- 能夠建構複雜的幾何結構
- 提供廣泛的材料和結合機制。
- 碳水化合物、蛋白質和脂肪。
- 調整材料的特性：熔化溫度和玻璃化轉變溫度、凝膠化和黏度。
- 層間的強相互作用是影響最終結構的穩定性和自支撐性能的主要因素。

- 不如液基沉積有吸引力
- 用於列印糖結構
- 最終產品缺乏營養價值
- 粉末和黏合劑之間的弱相互作用可能會導致表面粗糙和建築物不穩定。

---

# 3D列印之「食品材料特性」 與衛生管理

# 根據材料特性合理選擇3D列印技術

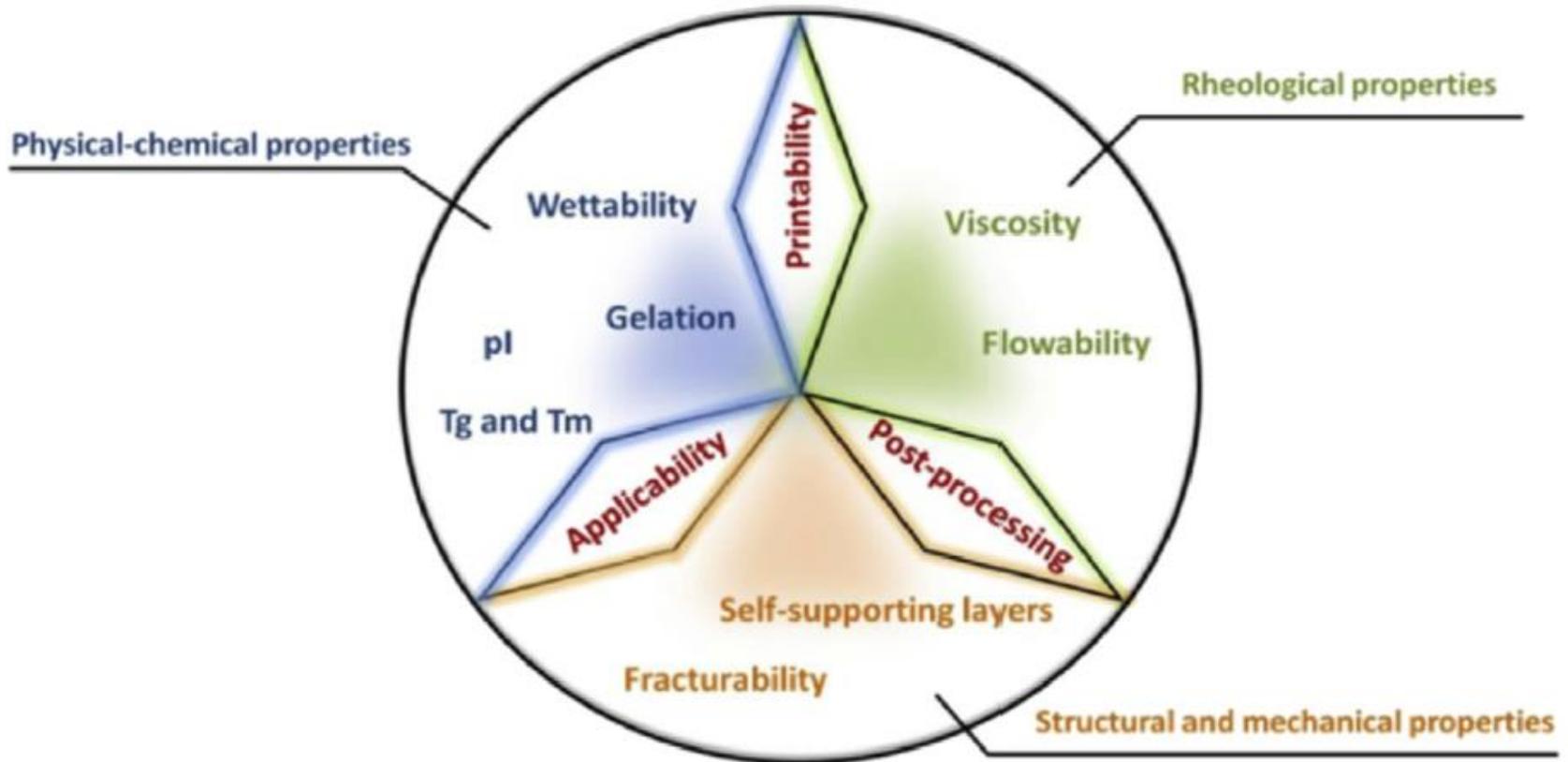
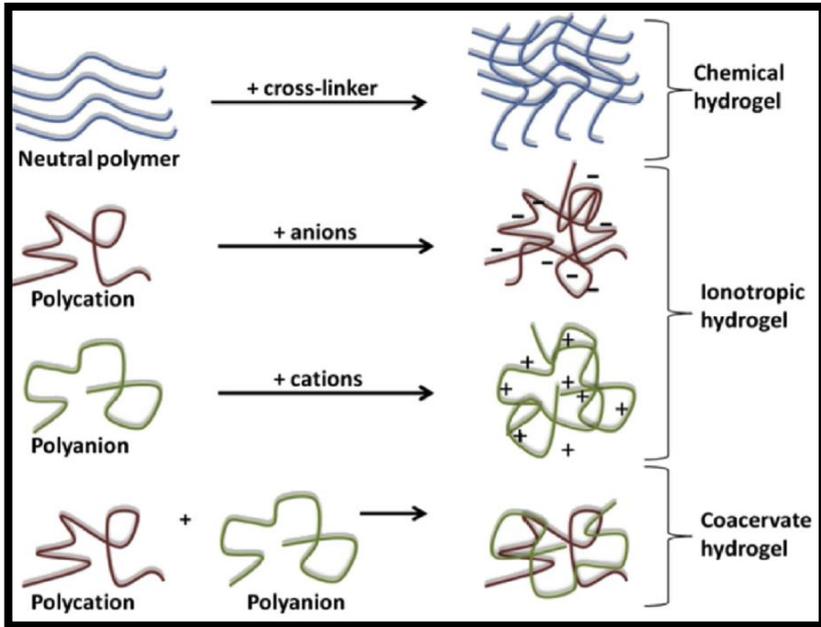


Fig. 12. Parallel between materials properties and factors to consider for the rational design of 3D food structures.

(Godoi et al., 2016)

# 材料特性

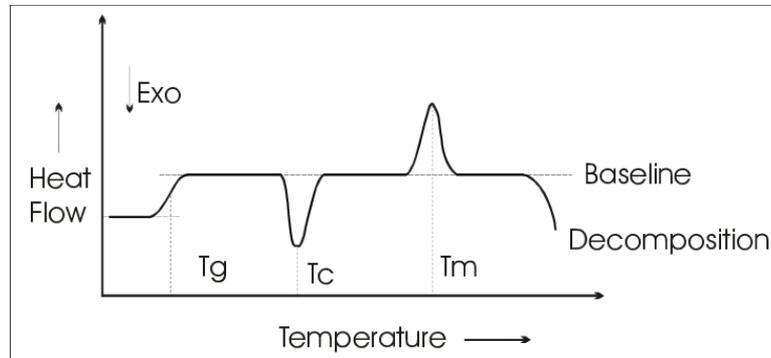
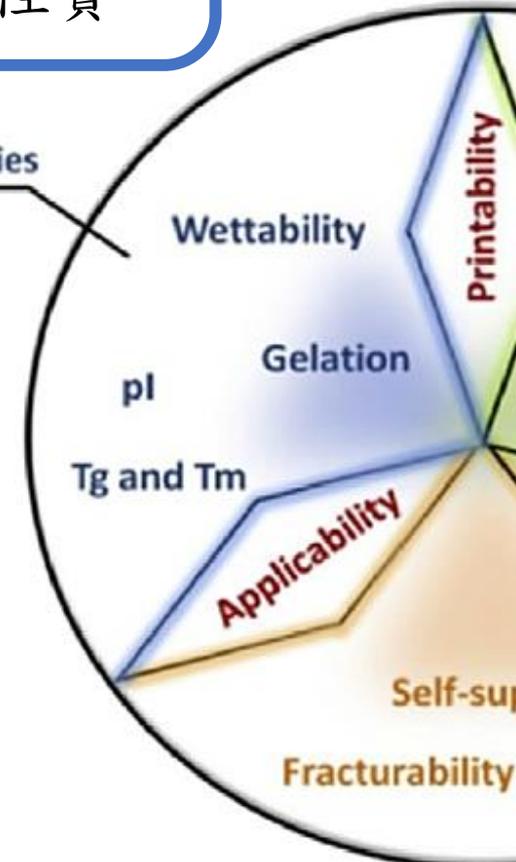


理化性質

流變特性

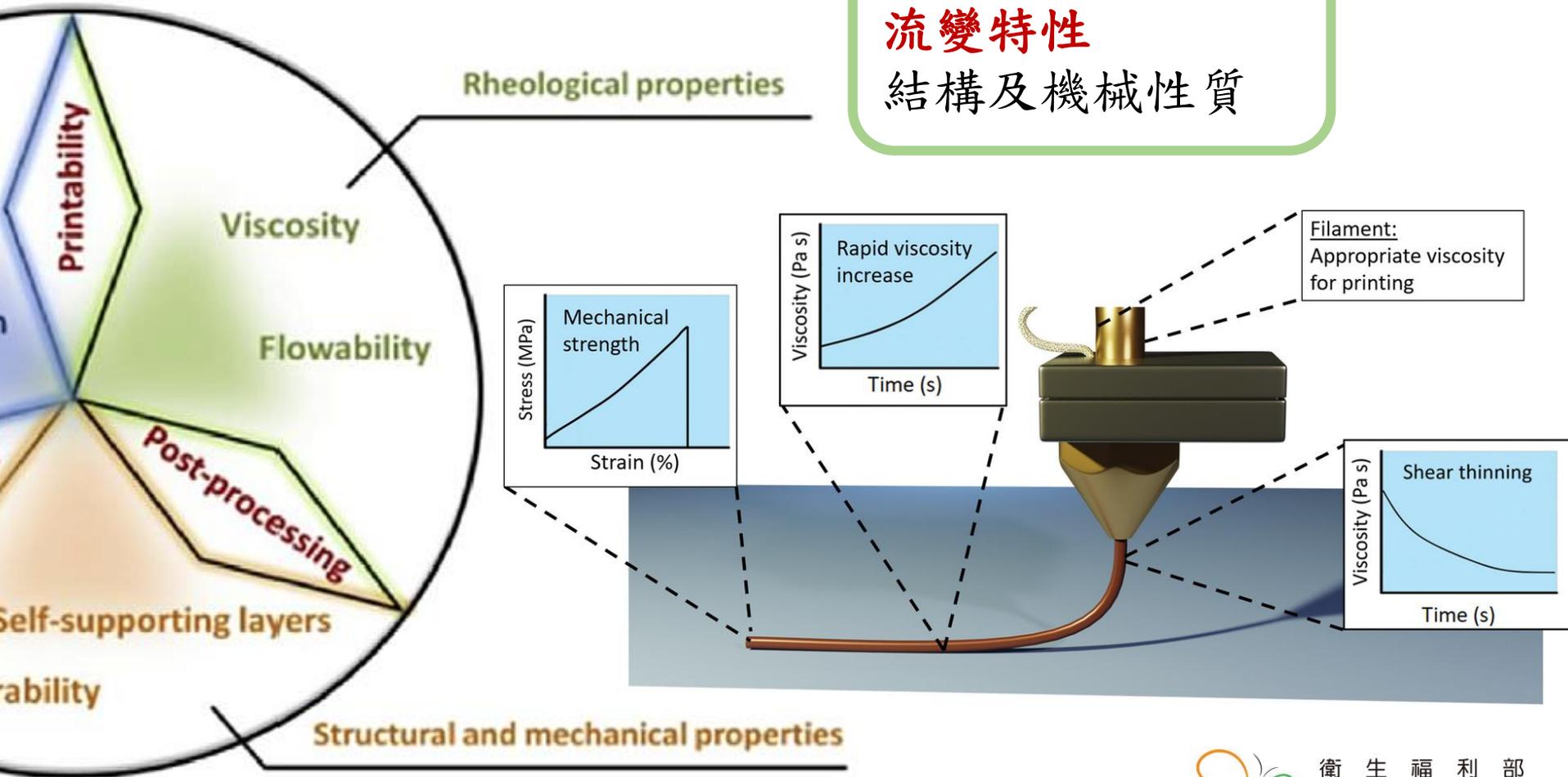
結構及機械性質

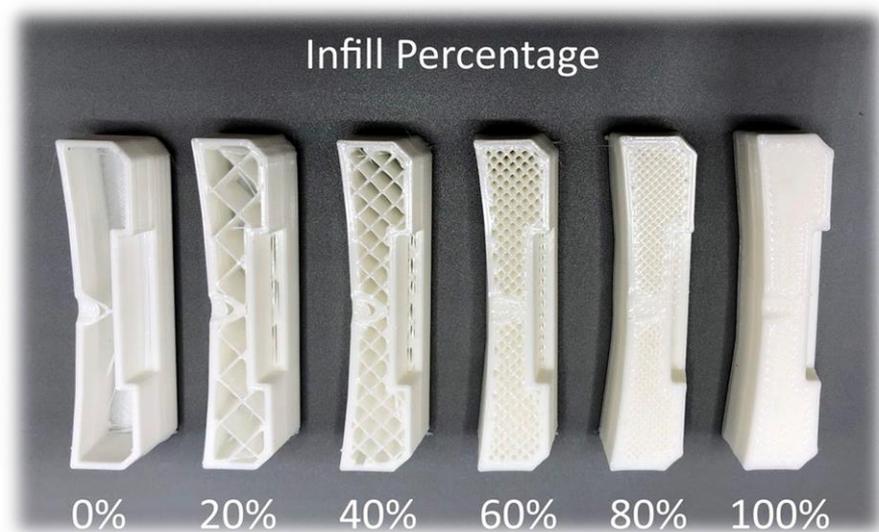
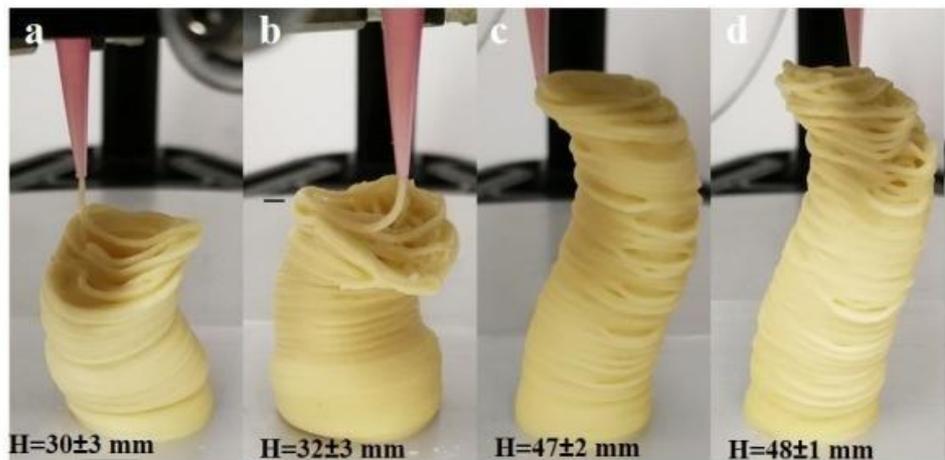
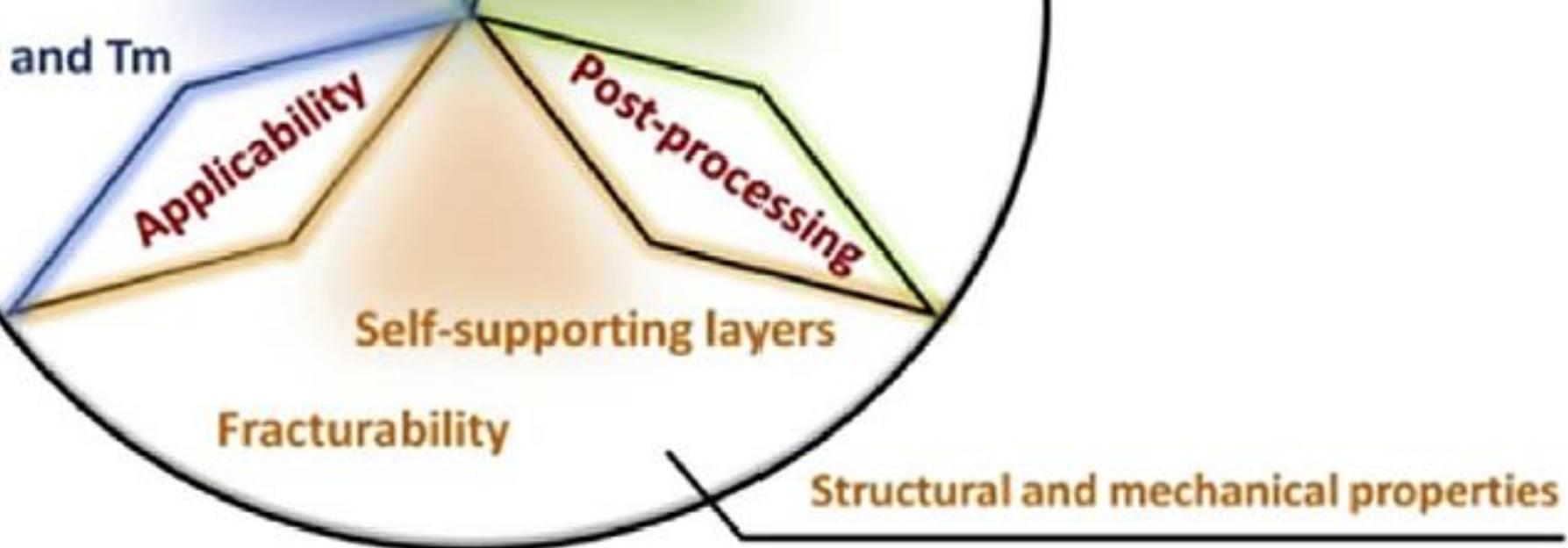
Physical-chemical properties



# 材料特性

理化性質  
流變特性  
結構及機械性質

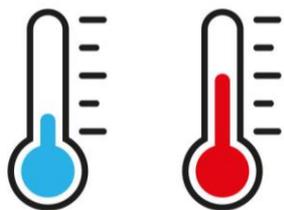
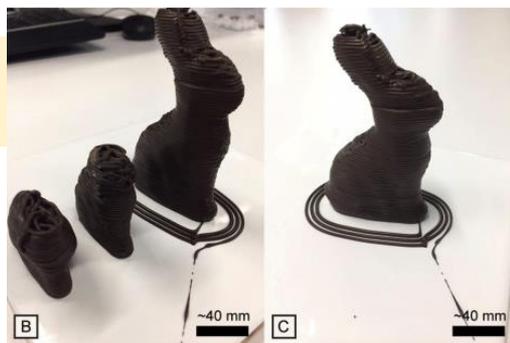




# 食品的基本成分及其 3D 列印的可行性

食品3D材料靠流動性是透過**塑化**和**熔融**來達成。

## 自體支撐結構



- 液體和粉末在3D 列印過程中食品材料的變化。
- 有文獻指出，**水的塑化現象**會降低了**澱粉、麩質和明膠**等食品聚合物的**玻璃轉化溫度(Tg)**

(Bhandari and Howes, 1999, Bhandari and Roos, 2003, Haque and Roos, 2006, Roos, 2010, Slade and Levine, 1994).

# 碳水化合物

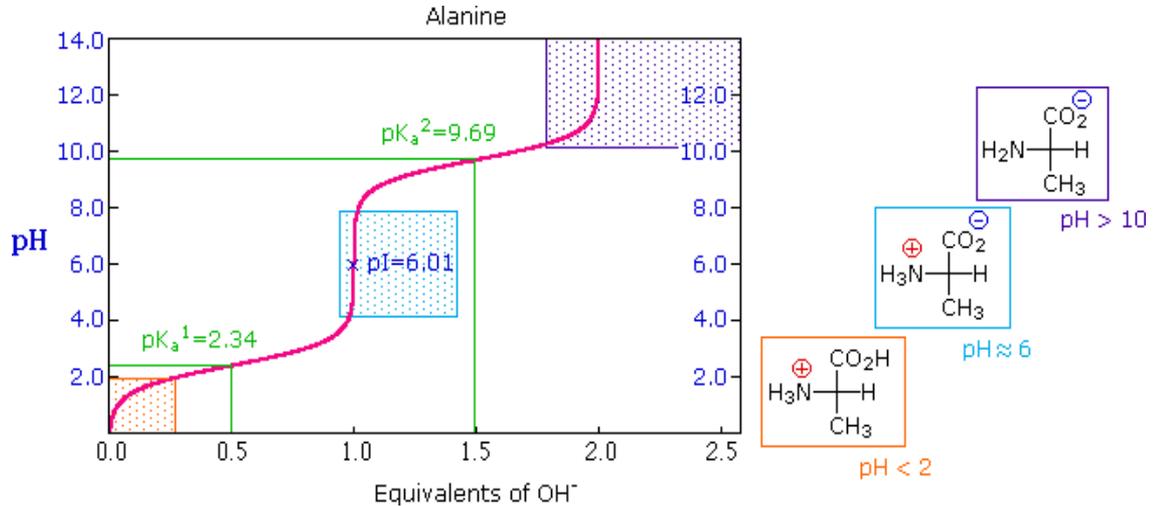
- 在透過熔融擠出進行巧克力 3D 列印時，糖的結晶狀態非常重要。擠出時，牛奶巧克力中的蔗糖和乳糖必須完全結晶。
- 高度結晶的優點是留下的無定形玻璃糖非常少可捕獲脂肪，因此，只需要添加較少的脂肪就可以製造成品巧克力的黏度。



(Gonçalves and da Silva Lannes, 2010)

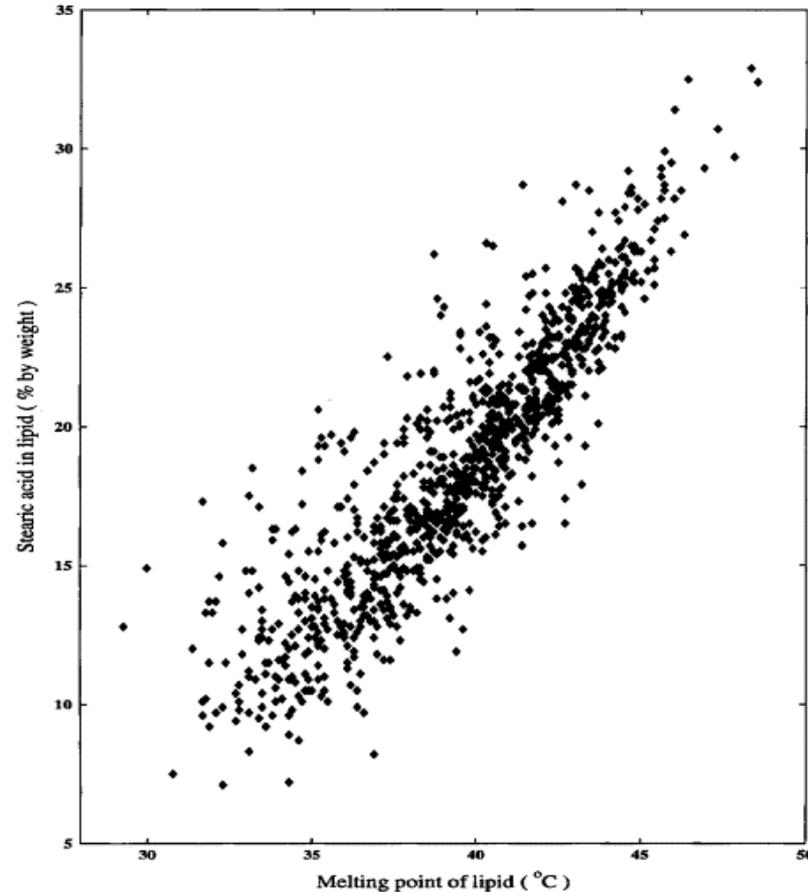
# 蛋白質

- 食物蛋白質由含有帶負電和帶正電的官能基的胺基酸混合物組成。蛋白質聚合物可以帶正電或負電，這取決於溶液 pH 值和蛋白質的等電點 (pI)。在等電點時蛋白質將會聚集。
- 在積層製造過程中，食品蛋白質與多醣材料的交互作用也可以產生新的質地。透過外部應力或化合物的應用也可以納入積層製造技術中，從而促進蛋白質的聚集和變性，作為設計不同紋理的替代方案。



# 脂質

- 三酸甘油酯 (Triacylglycerol, TAG) 成分和結構會影響積層製造技術的材料配方，進而影響材料的最終用途功能特性，例如熔點範圍、固體脂指數和晶體結構。
- 眾所周知，肉的質地、顏色和保存期等品質與TAG成分密切相關，脂肪酸熔點的不同對肉中脂肪的硬度或柔軟度有顯著影響。(Wood et al., 2004)
- 積層製造技術有潛力幫助實現高品質的肉製品，透過調整肉醬層沉澱過程中標籤的含量，為特殊消費者類別（例如老人和兒童）開發紋理。

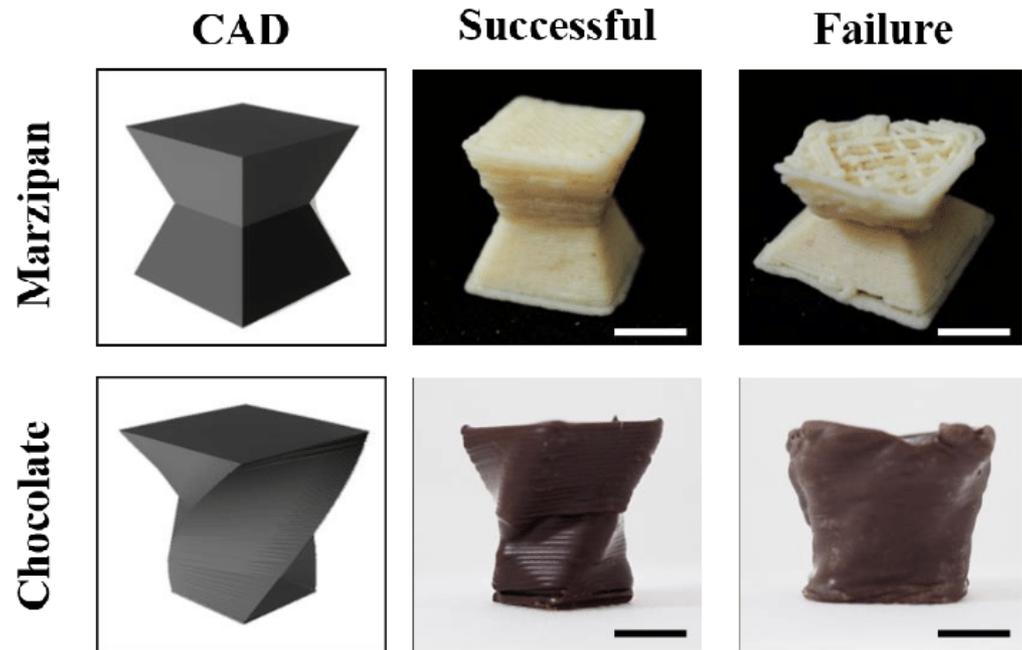


(Wood et al., 2004).

Fig. 2. The relationship between melting point and the concentration of stearic acid in lamb subcutaneous fat (Enser & Wood, 1993).

# 脂質

- 在應用於列印巧克力 3D 結構的**熔融擠出**的積層製造技術中，了解**脂肪結晶機制**以及它們如何有助於製造自支撐層是絕對必要的。
- 可可脂是巧克力中的主要結構材料，可以形成六種不同的多晶型，依熔點遞增順序從 I 到 VI (Marangoni, 2003).
- **可可脂**的多晶型現象對最終產品的**感官和物理特性**有相關影響。



# 食品3D列印配方之衛生管理

- 在3D食品列印及一般食品配方研發中，須確保食品安全與延長其保存期限。而控制食品儲存的關鍵點，特別是通過水活性（water activity, Aw）的管理和食品添加物的使用，例如：防腐劑、抗氧化劑等，可以有效預防食品的變質，如發黴和酸敗。
- 「原料品質控制」確保所使用的主原料、副原料及食品添加物須符合：
  - ✓ 食品良好衛生規範準則GHP
  - ✓ 食品添加物使用範圍及限量暨規格標準等

---

# 食品3D列印

## 「製程衛生管理」

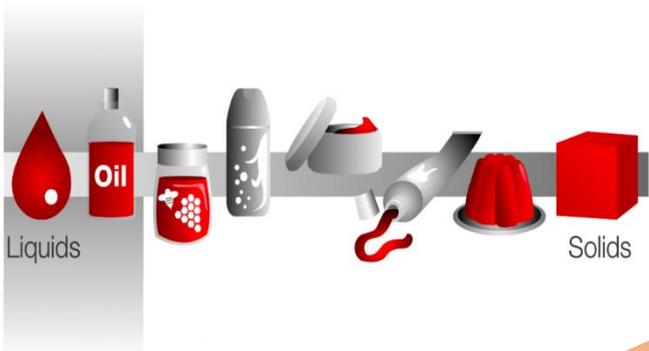
# 3D 食品列印中的擠壓

蛋白質/  
碳水化合物/脂質



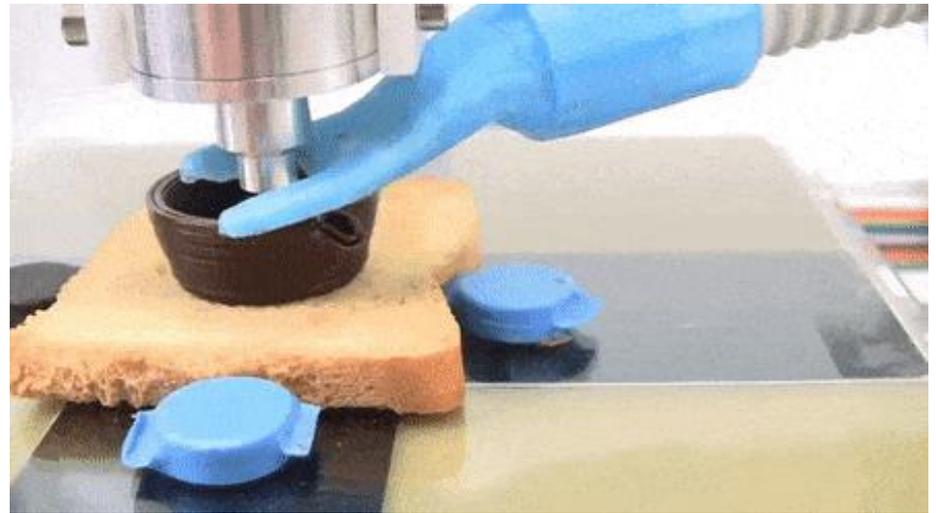
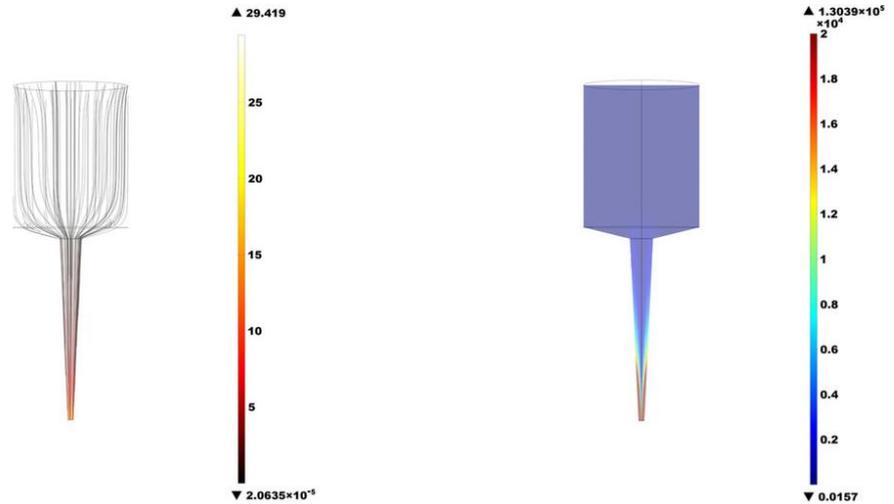
FOOD

液體/半固體/固體材料



# 擠壓製程

- 先放入所要列印之材料，將材料推擠出噴嘴後，再根據列印之路徑移動材料流，最後黏合沉積層以形成連貫的固體結構。
- 機器具有體積輕巧、佔用空間小且較低的維護成本等優點，但由於其在材料選擇具有一定限制和較長的製造時間而受到批評 (Sun et al., 2015)。



(Huang et al., 2013)

# 食品擠壓烹飪和擠壓食品印刷之間的區別

擠壓烹飪的關鍵部件是擠壓機，它可以混合、加熱/冷卻和成型高黏性原料 (Altan et al., 2009).

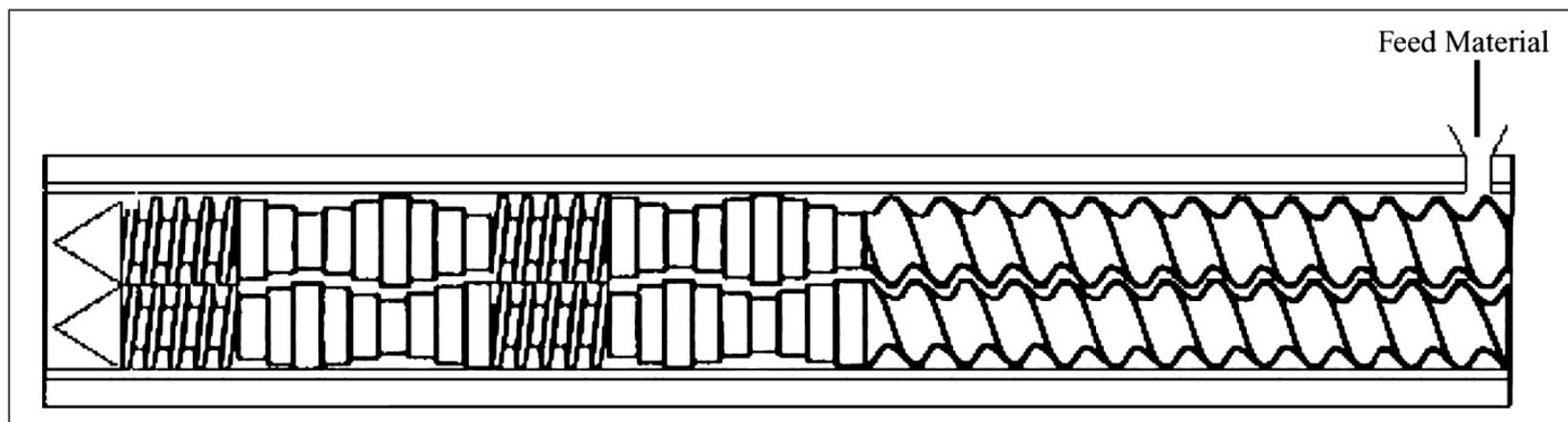
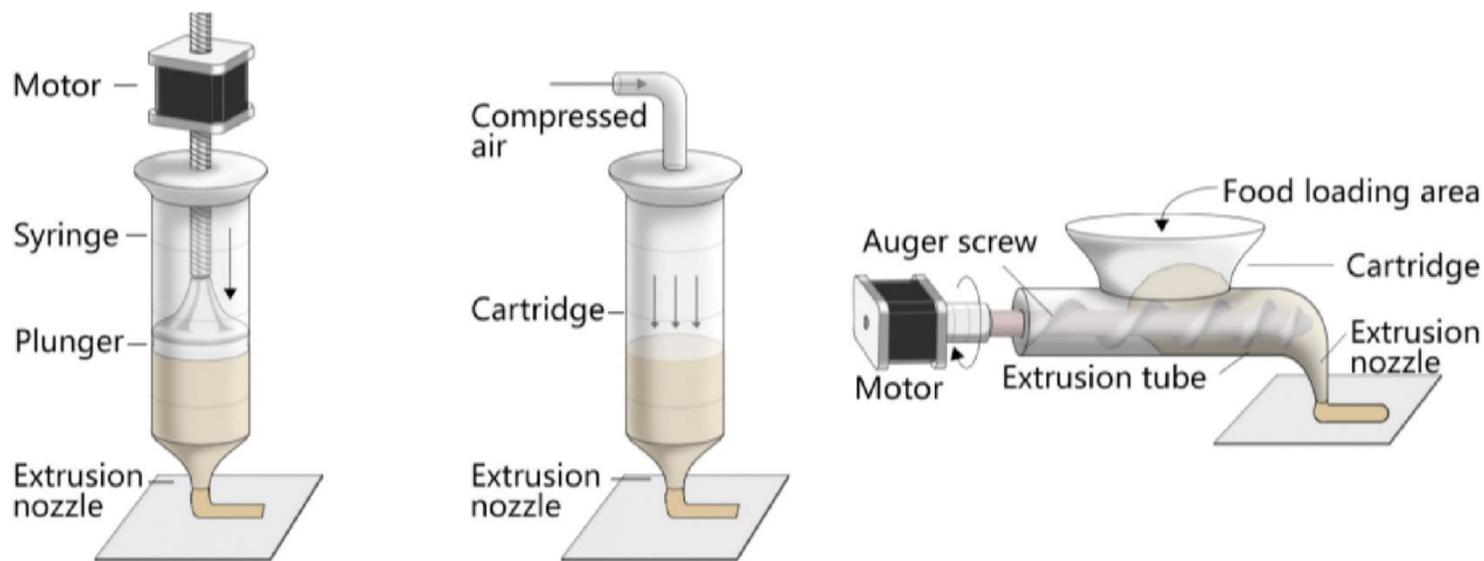


Figure 1 – Schematic representation of screw configuration.

- 此擠出機由緊密安裝在固定機筒內的單/雙旋轉螺桿組成。將預先研磨和調節的成分粉末送入擠出機，並利用機械能和熱能加壓成黏彈性流體。
- 然後，它們在位於擠出機末端的模具中進行組織化和成型，並從高壓轉變為低壓（大氣）。固體和液體成分都可以送入擠出機，用於製造結構、形狀、質地和密度各異的產品，例如麵食、零食和預煮顆粒。最終產品煮熟、保存穩定並準備好包裝。

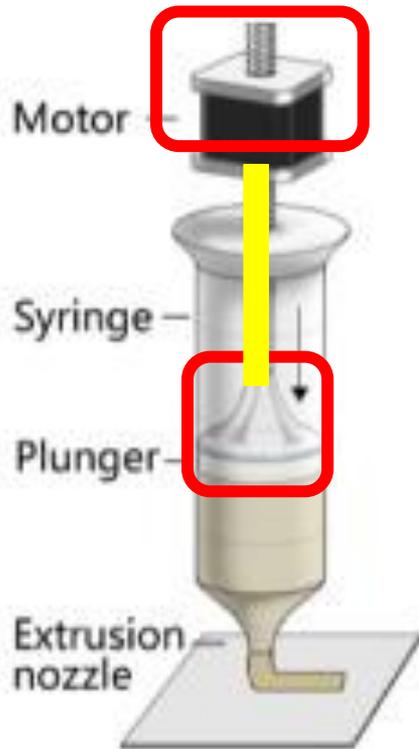
# 食品列印中的擠出機制及製程參數



(a) Syringe-Based Extrusion (b) Air Pressure Driven Extrusion (c) Screw-Based Extrusion

Fig. 4. Extrusion mechanisms.

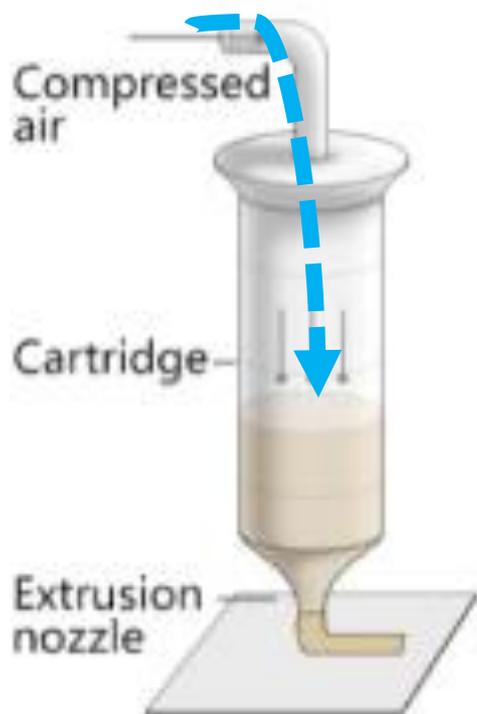
# Syringe-based extrusion (活塞擠出)



- 活塞擠出的組件包括用於儲存食品材料的注射器和用於驅動擠出過程的步進馬達。
- 步進馬達會依照程式code而產生線性運動，控制注射器柱塞的位置，並將食品材料從噴嘴中擠出。
- 此設計需要每個列印頭配備一個馬達，因此多材料的列印有效負載大大增加。

(a) Syringe-Based Extrusion

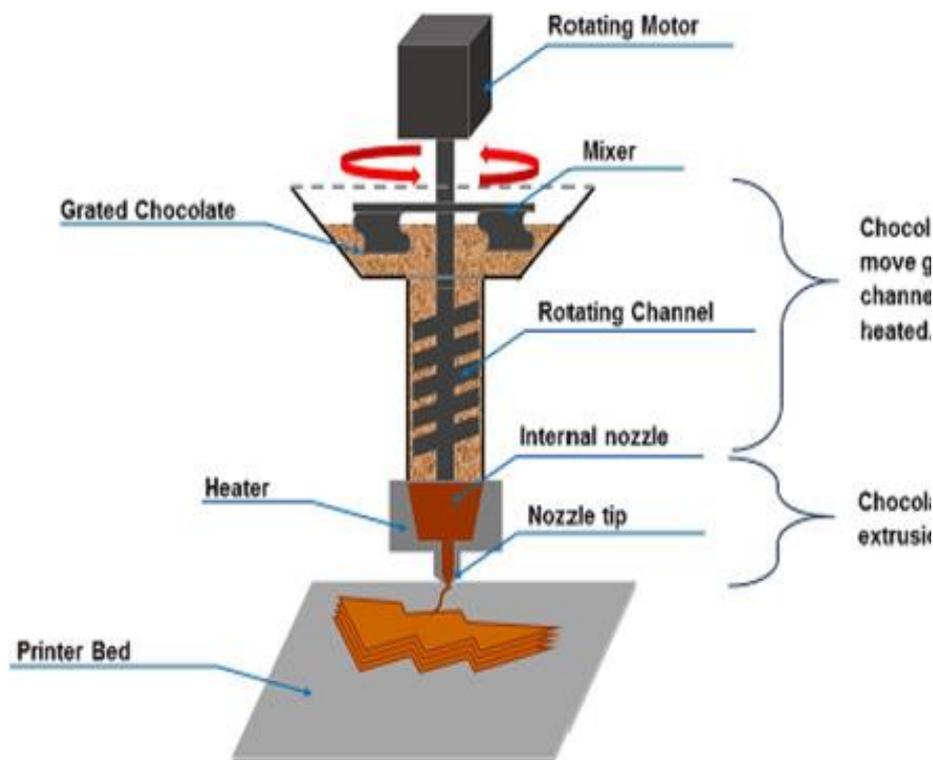
# Air pressure driven extrusion (氣壓驅動擠壓)



- 氣動幫浦產生的氣壓將封裝食品盒中的材料從噴嘴推出。
- 此幫浦可透過調節閥同時驅動多個具有不同擠出速率的擠出頭。改變擠出速率時，反應時間相對較長。
- 當食品卡筒的固體和半固體材料壁可以輕鬆附著在內部，更適合做為列印液體材料。

(b) Air Pressure Driven Extrusion

# Screw-based extrusion (螺桿式擠出)



(c) Screw-Based Extrusion

- 基於螺桿的擠壓，食品筒設計為頂部有一個寬闊的開口，用於裝載材料，底面是較窄的管結構和擠壓噴嘴。
- 列印過程中，馬達驅動的螺桿會不斷地將材料向下輸送，並在氣泡干擾最小的情況下將材料透過噴嘴進行擠出。

# 食品3D列印【製程衛生管理】

為確保3D食品列印過程中的食品安全和衛生，從而保護消費者的健康，應建立嚴格的衛生管理和製程查核流程，也是提高食品品質和消費者信任的關鍵。

## ● 管線材質/品質

管線、噴頭及與食品直接接觸的所有部件必須使用符合食品器具容器包裝衛生標準的材質，這些材質應該能夠承受清洗和消毒劑的使用，且不會與食品發生化學反應或釋放有害物質。

- ✓ 食品級不銹鋼
- ✓ 符合FDA（美國食品藥品監督管理局）規範的塑料

# 食品3D列印【製程衛生管理】

## ● 活塞潤滑劑

- ✓ 使用的潤滑劑必須是經過認證的食品級潤滑劑，這樣即使發生意外接觸，也能保證不會對食品安全構成威脅。
- ✓ 製造商應定期檢查機器，以確保潤滑劑不會滲漏到食品中，從而降低風險。

## ● 溫度控制

溫度控制對於維持食品安全至關重要。對於需要加熱的食材，必須確保加熱達到足夠的溫度，以殺死可能存在的有害微生物。

- ✓ 對於冷加工的食品，則需確保環境溫度足夠低，防止細菌生長。
- ✓ 一般室內環境應控制在攝氏18度至22度之間。
- ✓ 特定食品加工過程的溫度則需根據食品安全指南進行調整。

# 食品3D列印【製程衛生管理】

## ● 如何清潔

對於3D食品列印機的潔淨程度，可以透過物理和化學方法進行確認。

- ✓ 物理方法包括使用高壓水槍或蒸汽清洗。
- ✓ 化學方法則使用符合食品用洗潔劑衛生標準的清潔和消毒劑。
- ✓ 清潔後，可進行細菌培養測試或使用ATP（腺苷三磷酸）檢測儀器來檢測設備表面的微生物活性，從而證明清潔的有效性。

## ● 異物風險

- ✓ 在生產線上安裝金屬探測器或X光檢查系統，以檢測和排除可能混入食品中的金屬或其他異物。
- ✓ 進行定期的產品抽檢，並對生產設備進行定期檢查和維護，可以進一步降低異物混入食品的風險。

# 參考文獻

- Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 15(2), 671-684.
- Brecht, J. F., & Anderson, T. (1999). *U.S. Patent No. 5,902,441*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Cohen, D. L., Lipton, J. I., Cutler, M., Coulter, D., Vesco, A., & Lipson, H. (2009, September). Hydrocolloid printing: a novel platform for customized food production. In *2009 International Solid Freeform Fabrication Symposium*. University of Texas at Austin.
- Davis, N. E., Ding, S., Forster, R. E., Pinkas, D. M., & Barron, A. E. (2010). Modular enzymatically crosslinked protein polymer hydrogels for in situ gelation. *Biomaterials*, 31(28), 7288-7297.
- De Grood, J. P. W., & De Grood, P. J. (2013). *U.S. Patent No. 8,556,392*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Diaz, J. V., Noort, M. W. J., & Van Bommel, K. J. C. (2021). *U.S. Patent No. 11,000,058*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Diaz, J. V., Van Bommel, K. J. C., Noort, M. W. J., Henket, J., & Briër, P. (2018). *U.S. Patent No. 10,092,030*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54.
- Gonçalves, E. V., & Lannes, S. C. D. S. (2010). Chocolate rheology. *Food Science and Technology*, 30, 845-851.
- Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N., & Sloan, M. (2010). Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(2), 57-64.
- Kirchmayer, D. M., & Gorkin Iii, R. (2015). An overview of the suitability of hydrogel-forming polymers for extrusion-based 3D-printing. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(20), 4105-4117.
- Kruth, J. P., Levy, G., Klocke, F., & Childs, T. H. C. (2007). Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. *CIRP annals*, 56(2), 730-759.
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83-94.
- Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature biotechnology*, 32(8), 773-785.
- Periard, D., Schaal, N., Schaal, M., Malone, E., & Lipson, H. (2007, August). Printing food. In *2007 International solid freeform fabrication symposium*.
- Schaal, N. (2007). Preliminary experiments with chocolate.
- Schmid, M., Amado, F., Levy, G., & Wegener, K. (2013, September). Flowability of powders for selective laser sintering (SLS) investigated by round robin test. In *High Value Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping: Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping* (p. 95). Leiria, Portugal: CRC Press.
- Van Bommel, K. (2014). 3D food printing.
- Van der Linden, D. (2015). 3D Food printing: Creating shapes and textures. *TNO Innovation for Life, The Netherlands*.
- Wegrzyn, T. F., Golding, M., & Archer, R. H. (2012). Food Layered Manufacture: A new process for constructing solid foods. *Trends in food science & technology*, 27(2), 66-72.

