

出國報告（出國類別：進修）

奉派赴蘇格蘭 Heriot-Watt 大學進行  
「釀酒與蒸餾(brewing & distilling)」  
課程進修報告

服務機關：臺灣菸酒股份有限公司南投酒廠

姓名職稱：助理技佐 鍾培源

派赴國家：英國

出國期間： 104.6.12 日至 105.9.17

報告日期： 105.12.7

## 出國報告摘要

頁數： 88 含附件：是 否

出國報告名稱：奉派赴蘇格蘭 Heriot-Watt 大學進行「釀酒與蒸餾(brewing & distilling)」課程進修報告

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：財政部臺灣菸酒股份有限公司 / 林怡君 / (02)23214567

出國人員 姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

出國人姓名	服務機關單位/職稱	電話
鍾培源	臺灣菸酒公司南投酒廠/助理技佐	(049)2234171 分機 302

出國類別： 1. 考察 2. 進修 3. 研究 4. 實習 5. 其他

出國地區：英國

出國期間：民國 104 年 6 月 12 日至民國 105 年 9 月 17 日

報告日期：105 年 11 月 30 日

分類號／目：DO/綜合 (財政類)

關鍵詞：啤酒、威士忌、蘇格蘭、Heriot-Watt、釀造與蒸餾

內容摘要：

為持續提升台灣菸酒公司製酒技術，公司陸續派員至國外學習製酒技術(如啤酒、白酒等)與國際接軌，以提升產品品質。近年來，台灣威士忌市場的崛起，自產威士忌躍身為營運重點，為持續提升產品品質，以及獲取近代生產技術，公司旗下酒事業部於 104 年派職至英國蘇格蘭 Heriot Watt 大學，研習威士忌生產相關技術。本報告為參加該校 Brewing and Distilling(釀造及蒸餾)碩士課程之進修報告。內容可分為三個部分：一、學科及製酒相關技術；二、術科及工廠實習與觀摩報告；三、自行參訪威士忌蒸餾廠之心得分享。學科課程主要有製麥、酒醪與發酵、製程科技、蒸餾與熟成、過濾與包裝、專題討論、專案計畫及選修之基礎學科，第一階段課程著重在啤酒釀造技術，第二學期課程延伸至威士忌生產技術。術科部分有啤酒釀造、高比重麥汁釀造、琴酒配方設計、產學合作計畫(加味烈酒配方開發)以及啤酒廠實習，報告內容摘錄參訪啤酒廠、製桶廠、橡木桶倉庫、抽裝樽作業工廠、啤酒包裝線、穀類烈酒蒸餾廠、麥芽威士忌蒸餾廠等之心得。於學期間假期，亦自行安排參訪十間蘇格蘭威士忌相關產業，所得之技術資訊亦記載於本報告。

# 目錄

壹、目的 .....	1
貳、過程 .....	3
一、行程 .....	3
二、學科內容摘錄 .....	5
1.啤酒及威士忌定義 .....	5
2.製麥 .....	5
3.麥芽種類 .....	11
4.副原料 .....	12
5.麥芽研磨 .....	12
6.釀造用水 .....	14
7.糖化 .....	15
8.麥汁過濾 .....	17
9.麥汁煮沸 .....	19
10.麥汁除渣 .....	21
11.啤酒花 .....	21
12.酵母 .....	24
13.啤酒發酵 .....	25
14.威士忌發酵 .....	27
15.威士忌蒸餾 .....	29
16.威士忌熟成 .....	34
17.橡木桶熟成機制 .....	37
18.包裝前處理 .....	40
19.包裝 .....	42
三、術科內容摘錄 .....	45
1.大麥及麥芽實驗 .....	45
2.微生物實驗 .....	46
3.調和酒醪蒸餾實驗與琴酒配方設計 .....	46
4.精釀啤酒廠(Steward brewery)實習 .....	47
5.商規啤酒釀造、高比重麥汁釀造與啤酒配方設計比賽 .....	47
6.專題實作 .....	48
四、產業參訪 .....	50
1.啤酒廠(Caledonian brewery)觀摩 .....	50
2.啤酒包裝線(Tennent Brewery)觀摩 .....	50
3.穀類烈酒蒸餾廠(North British Distillery)觀摩 .....	51
4.麥芽威士忌蒸餾廠(Glenkinchie Distillery) 觀摩 .....	52
5.Diageo 橡木桶作業園區觀摩 .....	53
五、自助行程參訪 .....	59

1.Oban 蒸餾廠 .....	59
2.Dalwhinnie 蒸餾廠 .....	60
3.Glenturret 蒸餾廠.....	61
4.Loach Lomond 蒸餾廠 .....	63
5.Glengoyne 蒸餾廠 .....	65
6.Auchentoshan 蒸餾廠 .....	67
7.Glenlivet 蒸餾廠 .....	69
8.Bushmill 蒸餾廠 .....	70
9.Forsyths 蒸餾釜製造工廠 .....	72
10.Brewdog 啤酒廠 .....	73
11.小記 .....	74
叁、心得及建議 .....	77
1.求學歷程 .....	77
2.精進知識與反思 .....	77
3.開拓視野 .....	78
4.建議事項 .....	79
肆、參考資料 .....	80

# 壹、目的

蘇格蘭威士忌為世界著名的烈酒，在亞洲市場上的普及度逐漸提高，並深受台灣消費者喜愛。在台灣威士忌的發展史上，本公司於 1980 年代曾經試產小批次威士忌，但並沒決議建廠，最後以進口威士忌原酒做產品開發，於 1984 年推出台灣第一支威士忌產品(玉台威士忌)，也就是現今玉尊威士忌的前身。近十年來，由於世界烈酒的消費市場的轉變，高優質威士忌的逐漸在烈酒市場占有一席之地，其中以蘇格蘭威士忌最為顯著，導致價格水漲船高，也增加本公司進口優質原酒的取得難度。直到 2008 年，公司決策由曾赴蘇格蘭進修的林錦淡前廠長，於南投酒廠設立威士忌蒸餾廠。自行生產蘇格蘭型的威士忌補足調合用原酒的空缺，同時提升產品的競爭力及自由度。如今蘇格蘭原酒價格持續高漲，甚至勝過自產成本，更顯當時的決策正確。隨後，南投酒廠在後續各任廠長的經營下，自產的威士忌由原本供應調和為主，轉向為訴求台灣風土以及酒廠特色的單一麥芽威士忌。從 2013 年起，前南投酒廠廠長林秋長先生及現任廠長潘結昌先生，以單一麥芽威士忌的行銷模式，將自產威士忌導入台灣高價位威士忌市場，成功的提升產品附加價值。如今，Omar 單一麥芽威士忌除在台灣市場深受歡迎外，同時也在世界舞台上大放異彩，促使台灣菸酒公司西式烈酒的經營重心，轉向威士忌系列產品。

南投威士忌蒸餾廠過去係以試驗工廠的設計理念所建造，挪用許多不少舊有設備，如目前操作中的四座蒸餾釜中有三座在建廠前已有數年的使用歷史。而建廠至今長約八年，部分設備略顯老態，如 2 號蒸餾釜於 2014 年時，因長時進行酒醪之蒸餾操作，導致冷凝器管路腐蝕且造成洩漏，造成威士忌生產停擺待修。由於當時知識的缺乏，不知業界已有緊急應變方案，故造成生產緊張。再者，南投酒廠的橡木桶倉庫有效容量逐漸飽和，自產威士忌的願景樂觀，未來可望新設橡木桶倉庫，甚至是新設產線。有鑒於此，無論是現有生產營運或是設備維護，倉儲擴充或新產線建造，可藉人員培育來提供決策時的參考。

為持續精進本公司製酒技術，台灣菸酒公司旗下啤酒事業部以及酒事業部，已陸續派遣技術人員至美國、德國、中國等學習先進製酒技術，並帶回寶貴知識及經驗。在西式烈酒中，威士忌已定為主要發展項目，因此有計畫派員出國進修威士忌製造技術，以對公司旗下員工做完整的職能訓練。在世界酒類相關學術領域中，不乏提供酒類釀造課程的教育機構，其中提供給國際學生的機構如較知名的美國 Siebel Institute of Technology，及 Master Brewer's Association of the Americas、American Society of Brewing Chemists 與 American Brewers Guild，丹麥的 The Scandinavian School

of Brewing, 德國的 Doemens Academy、VLB Berlin 及 Weihenstephan, 加拿大的 Niagara 學院提供的 Brewmaster & Brewery Operations, 英國 Sunderland 大學提供的 Brewlab、Nottingham 大學的 Brewing science and practice 以及 Heriot-Watt 大學的 International Center for Brewing and Distilling (ICBD)。上述課程大多著重在發酵酒釀造, 而位於英國蘇格蘭的 Heriot-Watt 大學, 是少數傳授啤酒以及威士忌生產技術課程的學校, 也具資格授予酒類蒸餾技術文憑之大學。Heriot-Watt 大學不僅是在酒類釀造的學術領域上享有極高的名望外, 著名威士忌專業製酒技術書籍, Whisky technology, production and marketing, 也出自於此校教職人員。提供蘇格蘭威士忌工業指導方針的 Scotch Whisky Association (SWA) 及 Scotch Whisky Research Institute (SWRI), 與 Heriot-Watt 大學有著高度的產學連結, 同時此校也是設計南投威士忌蒸餾廠及竹南啤酒廠的林錦淡廠長, 過去所研讀製酒技術之處, 因此 Heriot-Watt 大學為此進修計畫的指定學校。

職奉台灣菸酒股份有限公司 104.03.09 台菸酒人字第 1040004384 號函派赴英國蘇格蘭 Heriot-Watt 大學, 參加 2015 年的 Brewing and Distilling 碩士課程, 同時也實地參訪當地製酒產業的發展現況, 至取得碩士學位資格後, 於 105.09.17 回台。

## 貳、過程

### 一、行程

本案於 6 月 12 日由台北出發，經倫敦飛抵愛丁堡國際機場，隨即展開一系列的課程。在 Brewing and Distilling 碩士課程中，課程的架構主要可分為兩個部分，一個是學科授課，另一是術科實習以及產業觀摩。先後可分為三個學期，第一學期的學科著重在麥芽及啤酒的生產，以及釀造相關之工程科目，第二學期著重在威士忌與琴酒的生產、成品的包裝以及基礎學科。第三學期為專案計畫，課程結果為碩士論文撰寫的依據。與學期間，修得課程有：製程科技、食品化學、毒化學、專題討論、大麥及製麥、麥汁煮沸及發酵、過濾與包裝、蒸餾與熟成與專案計畫。學科授課時，配合術科實驗或實習為輔，同時學/術科皆需撰寫作業，作為取得修課資格的依據。除實習外，課程安排有產業觀摩，以拓展學員視野及瞭解業界的操作模式。修習之課程需繳交繁重的作業，且需通過測驗以取得修課通過資格。依課程規定，必須先取得八個科目的修課通過資格，方可進行專案計畫課程，該課程為取得碩士學位之關鍵課程。專案計畫課程與產業結合密切，主要依業主需求進行產品開發、修改或製程改善等計畫，撰寫後之論文需通過二階段的審核，全數通過後才可取得碩士畢業資格。與學期間行程如下表：

日期	行程
104 年 6 月 12 日	啟程，由桃園機場出發至倫敦希斯洛機場
104 年 6 月 13 日	由倫敦希斯洛機場飛抵愛丁堡
104 年 6 月 14 日	入住學校宿舍，準備生活必需品及熟悉環境
104 年 6 月 15 日	碩士先修班課程開始上課
104 年 9 月 14 日	Brewing and distilling 第一學期授課開始上課
104 年 9 月 16 日	蒸餾實習
104 年 10 月 6 日	參加 Craft distiller conference
104 年 10 月 27 日至 104 年 11 月 10 日	啤酒釀造實習
104 年 11 月 11 日	商用啤酒廠實習-麥汁及發酵
104 年 12 月 1 日	Caledonian 啤酒廠參訪
104 年 12 月 2 日	商用啤酒廠實習-包裝
105 年 1 月 11 日	Brewing and distilling 第二學期授課開始上課
105 年 1 月 19 日至 105 年 2 月 4 日	高比重釀造實習
106 年 1 月 20 日	Diageo 橡木桶倉庫參訪



## 二、學科內容摘錄

### 1. 啤酒及威士忌定義

啤酒主要可分為Lager、Ale與Stout三種型式，其中以Lager型的啤酒為現今市場主流。在亞洲，大多商用啤酒廠為Lager型的啤酒廠(如台灣啤酒)，Ale與Stout在亞洲地區的滲透率較低，但近年來精釀啤酒的興起，致Ale型啤酒的能見度有逐漸提升的趨勢。英國啤酒的定義與台灣法規類似，但並非各國的啤酒定義都相同。英國啤酒係以麥芽、啤酒花、釀造用水、酵母為主要原料，可添加其他穀類或澱粉為副原料及植物性輔料，最低酒精度不低於2%abv；而西德的純粹法(German Beer Purity Law)定義啤酒僅可使用大麥、水及啤酒花為原料，禁止使用穀物等副原料。

威士忌的定義在世界各國不逕相同，台灣菸酒管理法明確定義威士忌為以穀類為原料，經糖化、發酵、蒸餾後，需貯存於橡木桶兩年以上，其裝瓶後酒精成份不低於百分之四十之蒸餾酒。而蘇格蘭威士忌的定義更為嚴格，除需在蘇格蘭地區於橡木桶熟成三年以上，必需僅使用麥芽自體酵素糖化來自麥芽或穀物之澱粉源，禁止添加外源酵素的規定。此外，愛爾蘭的威士忌可添加外源酵素輔助糖化，加拿大的威士忌可以添加果汁或其他酒類調味，美國威士忌需於新橡木桶熟成。

威士忌的生產與啤酒極其相似，簡易流程示意如下：

啤酒：大麥 → 製麥 → 糖化 → 煮沸 → 發酵 → 過濾 → 包裝 → 成品

威士忌：大麥 → 製麥 → 糖化 → 發酵 → 蒸餾 → 熟成 → 包裝 → 成品

與啤酒相同，各國威士忌的生產都需使用大麥(印度威士忌除外)，因大麥在發芽中可產生足夠的酵素，供自體澱粉轉化成糖類以供成長所需。而在人工的催芽環境下，發芽所產生的酵素不僅可供大麥澱粉糖化，亦可提供其他低酵素活性的澱粉源(副原料)進行糖化。製麥技術，就是人工催芽的極致表現。

### 2. 製麥

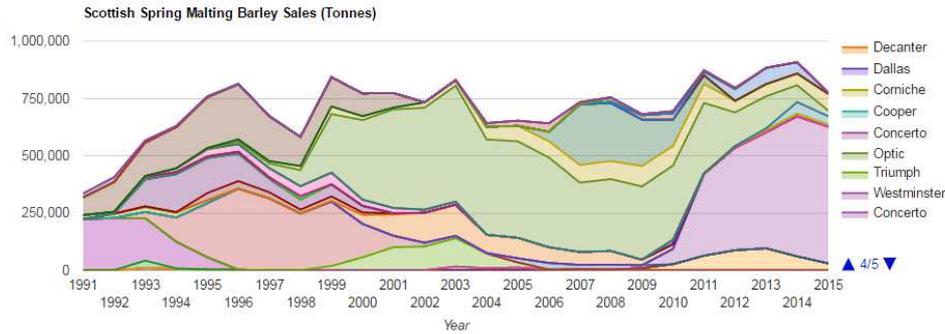
大麥的用途可簡單分類為食品工業用(如飼料/烘焙業)，以及製麥工業用。製麥用大麥含氮量普遍較飼料用低，因過高的蛋白質含量除了會降低產酒率外，也會阻礙發麥製程。麥子外觀要求飽滿(相對低的麥麩)，因此單位面積生產量低，麥農需仰賴製麥廠的補助，才願意種植製麥用大麥。酒用麥芽為製麥工業裡的一支，可再細分為供穀物威士忌用及麥芽威士忌用。用於穀物威士忌生產的麥芽含氮量，較麥芽威士忌之麥芽還高，旨在獲得較高的酵素活性以及較豐富的酵母營養源；反之，麥芽威士忌用的大

麥含氮量較低(含碳量較高)，旨在獲得最大酒精產率。威士忌的生產與酒精工業相似，高酒精產量為最主要訴求，因此，評估麥芽品質優劣的依據為每單位麥芽的產酒率(每噸麥芽的酒精收得量(公升)，簡稱PSY)。大麥的育種相當耗時，通常一個成功的品種從育種到上市需費時12年，為了降低試驗成本，新品種麥芽之PSY需較現有最佳品種麥芽還要高2%，才會進到後續測試。由十九世紀起至今，拜育種學家的努力之賜，酒用麥芽的PSY由1900年Chevalier的300公升/公噸到現在實驗室所測得之最高460公升/公噸，已足足提升近50%。

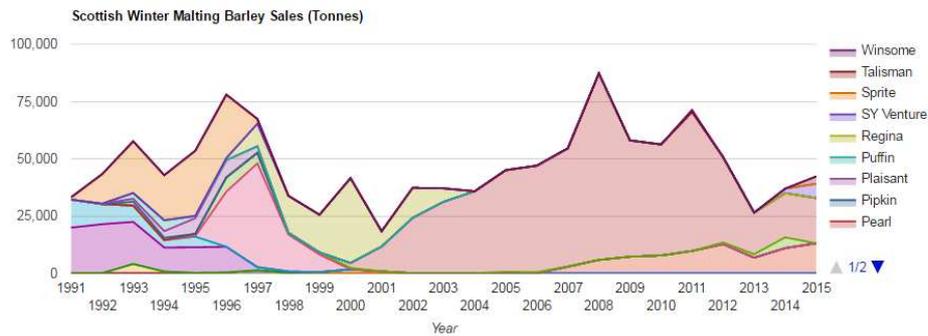
在蘇格蘭威士忌的生產中，大麥的育種有幾個重要的轉變。過去育種大麥的市場主要位於氣候相較緩和的英格蘭及歐洲地區，地處偏遠且氣候條件惡劣的蘇格蘭，普遍不是育種家的主要市場，因此大多高產率的新大麥品種在蘇格蘭地區的栽種表現並不佳，主要因為蘇格蘭有太強大的陣風，造成作物倒伏。直到西元1968年，在傳統的基因改造科技協助下，以放射線致突變的新品種大麥問世，這種短桿且強悍的大麥能夠適應蘇格蘭的強風環境，承諾蘇格蘭的農夫們不會再受大麥倒伏之苦，也能享有新品種高產能的大麥，且休眠性低，因此取名黃金承諾(Golden promise)，PSY可達390。不過因涉及使用放射線致突變，遭受不少競爭對手攻擊。第二段轉變於1950~1970年間，因二戰後民生工業快速發展，蘇格蘭地區設立了許多的新麥芽廠，釋出了品質相對穩定、且產酒率高的麥芽，因此翻轉了蒸餾廠自行發麥的傳統，大多蒸餾廠轉向與麥芽工廠採購麥芽。不過當時英國大麥普遍都具有些許程度的休眠(dormancy)特性，使得製麥工廠的麥芽成本無法有效降低。直到1990年，不具休眠性的Truimph新大麥品種育種成功，於試驗室裡測得的PSY可達430，為第三段的轉變，具些許休眠期特性的大麥(如Golden promise)逐漸被市場拋棄，僅剩部分地區性的麥農仍在栽種。如今，雖有新的基因改造技術(轉基因)，但普世觀念迫使現今蒸餾業者持續選擇傳統基改技術的品種，畢竟大多數消費者不願意花高價購買由轉基因農產品所製得的威士忌，即使經蒸餾後的烈酒，已不可能含有任何基因片段。

自1990年起，蘇格蘭地區栽種的製麥用的大麥品種分佈如下圖，目前春麥以2009導入的Concerto為主要經濟品種，而1999年導入的Pearl則為主要的冬麥品種，也是目前推薦名單中的最老品種。其中占總累積收成量最高的春麥Optic已於2015年從推薦名單中移除。於1968年問世的劃時代品種Golden promise早已於1990年於推薦名單中除名，於1990至2015年Golden promise的總累積產量僅剩58,802噸，相較於當今主流的Concerto於2015年當年栽種量達約600,000噸。

Scottish Spring Malting Barley Sales (Tonnes)



Scottish Winter Malting Barley Sales (Tonnes)



從大麥的收成到麥芽需經歷以下幾個流程，內容摘要如下：

收割→前處理→大麥乾燥→儲存→分級→運送→浸麥→發芽→乾燥→麥芽儲存

### 收割(harvest)

用於製麥用的大麥在收割前，需確保其成長至脫粒(threshed grain)，以獲得較高的發芽能力，否則會導致發麥不均，且亦受微生物感染。一般先經過外觀的檢查(蟲害及發霉)、含水率及總氮量測驗後分級使用。

### 前處理(pre-cleaning)

此製程主要目的為移除金屬以及無機物(石子)，保護設備以避免設備損耗。麥桿也在此階段移除，通常以磁石、篩網及鼓風機進行大麥前處理。

### 大麥乾燥與大麥儲存

在過去具有休眠期的大麥，從大麥收割後到使用，可能會有長達14個月的儲存期，儲存過程中微生物的生長以及早芽現象，會影響到後續產品製程穩定性，因此會於儲存時將含水率降至12%以下來抑制。採收後的大麥通常以直接火源、燃燒尾氣或混合熱氣流進行乾燥。乾燥時氣流溫度及濕度控制非常重要，大麥不可被加熱至超過攝氏35度。在過去，大麥儲存環境條件會影響到其休眠期(dormancy)的表現以及喚醒後的製麥效

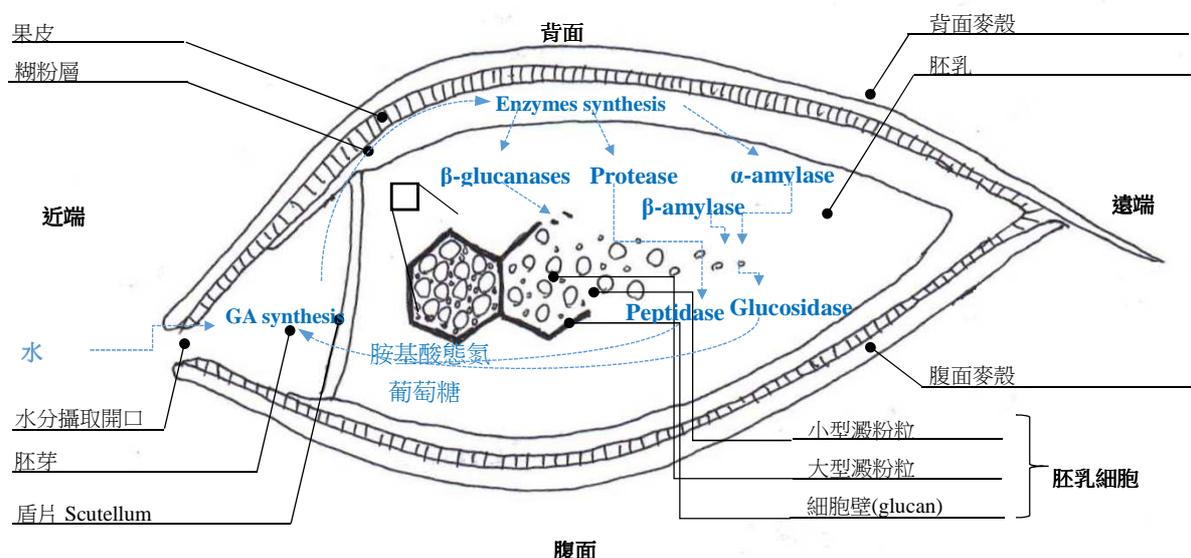
果，如今的育種大麥已鮮少有休眠期的特性，但仍需抑制微生物的增生以及發芽。在儲存過程中，一但少量的大麥開始發芽，其釋放出來的水氣及溫度會促使其他大麥發芽。

### 分級

大麥的分級為控制製麥過程的重要步驟，大小不均勻的麥芽會導致水分攝取速率不同，造成發芽速率不一，並在後續麥芽乾燥時造成水分移除不均，導致小粒徑麥芽過於乾燥甚至焦化，或是大粒徑麥芽含水量過高，大幅提升麥芽儲存的風險。大麥的分級可由震盪式篩網或機械挑選的方式進行。大小平均的大麥會進行製麥，粒徑過大或過小的大麥大多轉入飼料業或食品(烘焙)業使用。

### 浸泡與發芽

浸泡的目的為提升大麥的含水率至44%，增濕過程中大麥含水率提升至33%開始發芽。從大麥發芽到中止的過程，稱為修飾(modification)。大麥簡易構造如下圖，外層由麥麩包覆以提供物理保護，麥麩下方為具有選擇性半透膜功能的果皮層，可提供化學保護，再往下是糊粉層。在“近端”有開口，為主要攝取水分的路徑，開口內為胚芽，再深入為胚乳，胚芽與胚乳間有盾片將其隔開。胚乳細胞為儲存大麥生長所需之養分的構造。依製麥觀點，胚乳細胞可約略分為三個部分：1.細胞壁 2.澱粉粒3.蛋白混合質(protein mix)。細胞壁由 $\beta$ -glucan所構成，主要支撐細胞結構，細胞內含澱粉粒與蛋白混合質。蛋白混合質將澱粉粒固定位於胚乳細胞內，其中，澱粉粒約略可分為兩種不同的大小，小的澱粉粒的糊化溫度較大澱粉粒高，若麥芽修飾(modification)程度過低，將會在糖化中造成黏度拉升，所幸大多數的小粒徑澱粉會在正常的製麥過程中首消耗殆盡。



製麥過程中，簡易敘述大麥內的變化如下：當胚芽攝取水分後，會啟動發芽機制，首先釋放出植物賀爾蒙(gibberellic acid, GA)，GA 隨濃度梯度經由盾片擴散至糊粉層。糊粉層為富有較高含量氮源的胚乳細胞，受到 GA 的刺激會啟動自我酵素合成機制，合成出  $\beta$ -葡聚糖酵素( $\beta$ -glucanases)、 $\beta$ -葡聚糖水解酵素( $\beta$ -glucan solubilase)、蛋白質分解酵素(protease)、澱粉水解酵素( $\alpha$ -amylase)及少量的限制糊精酵素(limit dextrinase)、葡萄糖酵素(glucosidase)與胜肽酵素(peptidase)。酵素隨濃度梯度向胚乳中心擴散。首先， $\beta$ -葡聚糖酵素破壞胚乳細胞之富含  $\beta$ -葡聚糖的細胞壁，暴露出胚乳細胞裡的澱粉粒以及蛋白質混合質。澱粉粒隨後受澱粉水解酵素分解成糊精以及糖類，同時蛋白分解酵素分解嵌有糖化酵素( $\beta$ -amylase)之蛋白質混合物，釋放出糖化酵素( $\beta$ -amylase)以及胜肽等。釋放出的糖化酵素( $\beta$ -amylase)進一步分解糊精以及澱粉，釋放出麥芽糖。麥芽糖隨後被葡萄糖酵素(glucosidase)分解成葡萄糖，胜肽被胜肽酵素(peptidase)分解成游離胺基酸。最後，葡萄糖及游離胺基酸擴散到胚芽細胞，供胚芽細胞進一步釋放 GA 刺激糊粉層及促進芽的成長，同時釋放出代謝產物，如水、二氧化碳。部分製麥廠會額外添加人工合成的 GA 以加速發芽，可獲得較均勻的麥芽修飾效果，並需與溴化鉀(KBr)中止 GA 作用，以避免過度修飾。可由成品麥芽中，溴的檢出與否得知，該廠是否使用合成 GA 催芽。

整理麥芽發芽時所涉及的酵素及其產物如下表：

酵素	作用目標	主產物
$\beta$ -葡聚糖水解酵素	葡聚糖( $\beta$ -glucan)之醚鍵	小分子葡聚糖( $\beta$ -glucan)
$\beta$ -葡聚糖酵素	葡聚糖之 $\beta$ -1-4-or $\beta$ -1-3-鍵	纖維二糖(cellobiose)
蛋白質分解酵素	蛋白質	胜肽、胺基酸
胜肽酵素	胜肽	胺基酸
澱粉水解酵素	澱粉/糊精鏈之 $\alpha$ -1-4-鍵 (內切)	糊精
糖化酵素	澱粉/糊精鏈之 $\alpha$ -1-4-鍵 (外切)	麥芽糖、 $\beta$ -限制糊精
限制糊精酵素	澱粉/糊精鏈之 $\alpha$ -1-6-鍵	直鏈糊精、葡萄糖
葡萄糖酵素	麥芽糖、糊精、澱粉	葡萄糖

因大麥自然演化的結果，大麥在發芽過程中，其代謝產物會抑制鄰近麥芽的生長，且同時消耗水中的含氧量，因此在製麥工廠中會以二或三階段式的浸泡/排乾(steepling/air-rest)製程。Air-rest為排乾浸泡水並通以飽和空氣，提供氧氣給大麥進行呼吸作用，也同時移除如二氧化碳及熱。過程中，間歇性的翻動發芽床可避免根芽的纏繞。麥芽的浸泡與發芽會影響麥芽在後續糖化時的表現，即使小粒徑澱粉粒通

常在發芽時，會因其體表面積較大的關係，先被酵素分解殆盡，但在修飾嚴重不足的條件下，會拉高成品麥芽的糊化溫度，影響到糖化時的操作風險。 $\beta$ -葡聚糖( $\beta$ -glucan)的分解成效會影響麥汁的流變性，如：溶出的 $\beta$ -葡聚糖若較大，麥汁黏度提升，影響濾排效率；過小則影響品啤酒的口感。發芽最主要的目的是在有限度的控制發芽程度，並最大化麥芽的糖化力，麥芽修飾程度若超過預期(over modification)，則會消耗太多的碳水化合物，而降低酒精產率；反之，麥芽修飾不夠導致糖化力不足，亦降低酒精收得率，糖化力在穀物威士忌以及添加有麥芽以外的啤酒生產特別重要。麥芽中的可溶性氮亦與大麥的發芽過程有密切的關連，麥芽的可溶性氮含量隨麥芽修飾程度(modification)的提升而增加，高可溶性氮含量意味著較高的酵母數成長，可產生更多酵母成長風味物質(正/負)，但會降低酒精轉化率。較高程度的修飾麥芽雖然會提升可溶性氮的值，但也同時消耗掉較多的澱粉源，因此進而降低後續糖化萃出物量(較低的糖轉化率)。麥芽的物性與化性在製麥過程的變化，將會在術科單元裡的大麥與麥芽實驗作敘述。

### **麥芽乾燥/焙燒(drying/kilning)**

降低麥芽的含水率以中止麥芽的修飾(modification)，並需在控制的乾燥環境下保留最大的酵素活性，同時賦予麥芽色度及風味。在麥芽的乾燥製程中，麥芽表面水份的移除大約可分為三個階段進行，此為操作風量、溫度及濕度的主要依據。

- 第一階段為蒸發段，麥芽表面含水量高，可視為覆蓋一層水膜，水份藉由乾燥氣流快速移除。水的蒸散的同時抑制了麥芽溫度的提升，此階段需以較高的換氣量避免反潮，及避免高濕度尾氣抑制麥芽表面水分的移除，導致提升麥芽的溫度，造成酵素活性降低，此段製程含水率約降至23~25%。
- 第二階段為擴散與蒸發段，麥芽表面的水膜覆蓋率減少，水分由麥芽內部至麥芽表面的擴散速率，逐漸主導乾燥速率。麥芽的溫度開始緩慢提升，水分移除速率開始減低，此段製程含水率約可降至10~12%。
- 當水膜消失，由麥芽內部擴散至麥芽表面的水分，可迅速被乾燥空氣帶走。水分子與澱粉及其他物質的鍵結力開始突顯，抑制了水分的擴散作用，此時水分移除速率大幅減低，麥芽溫度開始急劇拉升，此階段稱為擴散段，也稱為焙燒(kiln)。在焙燒末期，麥芽的溫度拉高，麥芽裡含氮物質會與糖類開始產生梅納反應，焙燒風味與顏色因此而生，最終含水率約可降至3~4%。製麥廠會翻動麥芽，同時將芽根去除以避免麥芽互相糾結，導致輸送及儲存效率降低。移除芽根後的麥芽可減少終端產品中的植物性氣味(菁味)，其中在焙燒過程產生的風味物質二甲基硫(DMS)，高達1/3的量會隨芽根移除。

乾燥用的熱風主要可分為兩種來源，1.加熱空氣 2.燃燒尾氣。加熱空氣是由鍋爐加熱熱交換器，靠輻射的方式加熱通過熱交換器的空氣，此法能源效率較差，但可以得到較穩定的乾燥氣體。燃燒尾氣是由燃燒石化燃料(如天然氣或泥煤)所產生的熱尾氣。由於燃燒過程中，氣流裡的氮氧化物會與麥芽之蛋白質反應形成具致癌性的亞硝胺(Nitrosamines)，亞硝胺會隨釀造進入啤酒，再隨蒸餾進入烈酒，因此通常於燃燒時投以二氧化硫，或直接燃燒硫以抑制亞硝胺之生成，此法會導致麥芽在乾燥過程中吸收二氧化硫，並降低糖化後麥汁的pH值等一連串影響，也會賦予酒液令人不愉快的硫味。高劑量硫化物的添加在採用燃燒值較低(雜質較高)的泥煤為原料時上述現象更為顯著。泥煤的燃燒尾氣含有較高濃度的酚類化合物(如phenol、guaiacol、eugenol、*o*-cresol、*m*-cresol、*p*-cresol與*p*-ethylphenol)或具有強烈氣味的pyridines，能夠給予終端酒類特殊的風味。泥煤的來源會影響到燃燒氣中酚類化合物的組成，甚至是開採泥煤礦的深度也會有一定程度的影響。蘇格蘭的主要泥煤經濟礦區有西邊Islay島、北方的Orkney島、位於Speyside南方的Tomintoul以及東北部Aberdeen海濱。

### 麥芽儲存

麥芽的儲存與大麥的儲存類似，需控制溫度及麥芽含水率來抑制病蟲害及發芽現象，經過乾燥後的麥芽大多失去發芽的能力，但並不代表麥芽全數失活，在特定條件下仍會繼續發芽並且釋放水氣與二氧化碳，特別是在長時間於溫暖潮濕的環境儲存更為顯著。一般乾燥後的麥芽會在儲存及運輸過程，提升1~2%的含水率。穀物儲槽的設計無論是麥芽廠或是酒廠都相當重要，依儲槽操作容量由小到大可分為三種型式：斗式(Hopper)、儲存槽(Bin)及儲存倉(Silo)。南投酒廠採用的是斗式(Hopper)以及儲存槽(Bin)，大規模的酒廠常設有水泥儲存倉(如啤酒廠)。儲槽的設計要點是物料進料與卸料的順利與否，以及單位儲量的建造價格。尤其是槽底的卸料傾角設計(如麥芽需大於30度，含根芽之麥芽需大於50度)，不佳的儲槽會導致物料萬年滯留在槽裡，除了提升受病蟲害的風險外，也可能因受潮固化，進而癱瘓作業。儲槽的建材影響物料在儲存時的溫度穩定性，水泥建材的阻絕性較佳，可適合長期儲存。反之，使用金屬儲槽的酒廠必需在短時間內淨空物料，如南投酒廠的金屬儲槽通常建議在進料後8週內使用完畢為宜。輸送與儲存用的機械設備需保養得當，並需設有粉塵管理計畫以降低爆炸風險。

### 3. 麥芽種類

不同訴求的麥芽可由改變製程條件來生產，約略可分為啤酒用、麥芽威士忌用、穀物威士忌用三種。用於麥芽威士忌的大麥的需求為大麥胚乳細胞的最大化修飾

(modification)，以求最高的可萃出物量；而用於穀物威士忌的麥芽為將酵素活性最大化，通常以較長的發芽製程以獲得最大酵素量，再以較低溫的乾燥來降低酵素活性的損失，一般來說用於穀物威士忌的大麥總氮含量較高、麥芽可溶性氮較高、糖化力較強，但製麥過程損耗大，因此單價較為昂貴。

啤酒用麥芽的訴求較為多元，麥芽產品可依啤酒風格而定，純麥啤酒的麥芽可傾向於麥芽威士忌用麥芽，而添加大量副原料的啤酒麥芽大多接近穀物威士忌用，當然這不適用於每間啤酒廠，啤酒廠可利用後續的製程進行麥芽特性的修正。一般在英式或德式啤酒的配方中，除了一般麥芽外，常見一定比例的特殊麥芽，如琥珀麥芽(amber malt)、棕色麥芽(brown malt)、巧克力麥芽(chocolate malt)與結晶麥芽(crystal malt)等。特殊麥芽的生產主要是改變發芽時間以及乾燥製程中的三個不同階段的溫度、濕度以及時間，控制澱粉結晶性或梅納反應程度等，進而賦予麥芽提供給啤酒特殊的性能(顏色、香氣及口感)。啤酒麥芽的修飾的程度決定後續糖化的製程及設備，英式啤酒及蘇格蘭威士忌大多使用一次浸出法糖化，需修飾程度較高的麥芽，因此麥芽成本較高。歐式啤酒或拉格啤酒，通常使用煮沸法、雙醪法或程序升溫法進行糖化，可適用修飾程度較低的麥芽，麥芽成本較低，但釀造成本較高。英國的麥芽主要由Crisp、Bairds、Simpson、Muntons與Boortmalt幾間公司提供。

#### 4. 副原料

啤酒或穀物威士忌的生產，大多會添加副原料(adjunct)做為額外的澱粉源，除了可以降低物料成本外，亦可給予啤酒特殊的風味及性質。副原料依形式可分為脆片/穀粉(grist)，如玉米碎片、玉米碎粒、玉米粉、碎米、大麥碎粒、小麥粉、高粱碎粒等，焙燒產品(terrified grain)及微粉化穀物(micronized grain)等加工農產品。過去穀類威士忌以玉米為主，如今因國家的貿易及農業政策變動，目前英國已改為小麥為主。工業化生產的玉米可提供相對便宜的澱粉源，玉米的添加用量可高達46%，玉米通常經脫油處理(如玉米油的副產物)後進入釀酒工業，以提升啤酒中氣泡的穩定性。採用小麥為副原料的威士忌具有較辛辣且風味獨特的產品，用於啤酒則可提升泡沫的穩定性，但其豐富的 $\beta$ -葡聚糖會提升濾排時的難度。除了上述固態副原料，液態副原料如玉米糖漿、轉化糖漿、大麥糖漿、小麥糖漿及麥芽糖漿等也常被使用，可直接在糖化後發酵前添加，以提升酒精產率及生產效率，常見於高比重釀造。

#### 5. 麥芽研磨

研磨的最終目標是將麥麩壓破但不壓碎，完整的麥麩可提供過濾時的濾床較高的穿透

性；研磨需將胚乳破碎以降低顆粒粒徑，旨在加速萃出物的溶出效率，但粒徑過細的麥芽碎粒(麥粉)容易造成過濾困難。一般來說麥麩、碎粒及麥粉的比例依後續過濾設備以及麥芽的修飾程度(modification)而定，可見下表。麥芽修飾程度較佳的高品質麥芽(胚乳細胞壁分解程度高)，可較有效率的由麥芽碎粒溶出萃出物，不需高程度的破碎；反之，修飾程度較低的麥芽需較高的破碎度，方可提升糖化效率，但容易造成較高量的單寧以及葡聚糖溶出，若以傳統的糖化槽操作，會大幅減低過濾效率。過濾設備將在後續章節再敘。蘇格蘭威士忌大多採用高度修飾的麥芽，以求最大酒精產率，故大多可搭配四輪以下的研磨機，且適用於糖化槽中過濾。

過濾設備	糖化槽(Mash tun)	勞特槽(lauter tun)	壓濾機(Mash filter)
麥麩	20%	15%	5%
碎粒	70%	55%	55%
麥粉	10%	30%	40%

雖大麥在製麥前已經歷過前處理製程，為了確保麥芽在製麥、運送及儲存過程中所入侵的異物在研磨前移除，進入研磨製程前的麥芽仍需經過過篩、除石、除金屬異物等製程，其中金屬異物的移除特別重要，金屬於研磨機內所造成的火花，具有引燃麥芽粉塵的風險。因此除了金屬移除程序外，乾式的麥芽研磨機需設有防爆擋板，以減低粉塵爆炸的風險。

麥芽的研磨設備約略可分為三種方式，濕式粉碎(wet roller milling)、乾式滾輪粉碎(dry roller milling)以及乾式槌式粉碎(Hammer milling)。濕式粉碎法通常以浸泡或是蒸汽浴的方式將麥芽潤濕後再進入研磨機，除了可降低麥麩的破碎程度，也可同時預熱麥芽。滾輪式的粉碎機可分為兩輪式、四輪式以及六輪式，滾輪數越高的研磨機調整碎粒分佈的能力越強。一般來說，修飾程度較高的麥芽可使用較簡易的研磨機，因此一般蘇格蘭麥芽威士忌的生產大多使用二或四輪式研磨機，其中以四輪式的較為常見。修飾程度較低的麥芽雖成本較低，但需較精確的控制麥芽碎粒之粒徑分佈以維持生產競爭力。滾輪的研磨表面可分為切割端以及壓碎端，依滾動方向以及表面構造可歸納成四種組合，用於勞特槽的研磨機之第一組滾輪通常設計為壓碎端對壓碎端，以保留麥麩的最大完整性，第二組或第三組為切割端對切割端，以對胚乳做切割。用於壓濾機的麥芽研磨可全數採用切割端對切割端的滾輪配製。槌式粉碎機(Hammer miller)是以高速旋轉的方形齒輪狀滾輪，於特定孔目的篩網內將麥芽打成碎粒或麥粉，無法通過篩網的麥芽碎粒或麥麩將在篩網內，被不斷敲成碎片，因此離開篩網的麥芽碎粒粒徑通常較低、麥麩破碎程度高。

## 6. 釀造用水

水為酒類釀造不可或缺的原料，也是影響酒類產品特性的重要關鍵。在糖化時，水會影響麥汁裡糖的組成。在煮沸時會影響啤酒花的利用率。在發酵時可能會影響酵母的生長表現。過去酒廠都直接採用當地水源，因此啤酒廠/蒸餾廠的廠址都會影響到該廠的酒類產品特性，如英國Burton-on-Trent的Pale ales，都柏林的Stout，慕尼黑的Lager以及風行啤酒界的Pilsen lager。在蘇格蘭，用於生產蘇格蘭威士忌的釀造用水是不經過處理的，傳統的啤酒廠也都採用當地水源，因此造成各廠產品風格的不同。水的來源可分為明水及暗水，明水如泉水、溪水與河水等，水質變化大且供給不穩定，較少直接用於釀造用水，常見於製程用水(如冷卻與洗滌)。伏流水與地下水屬於暗水，水質與水源供給相較穩定，啤酒廠或蒸餾廠大多汲取暗水生產。自來水可視為相對穩定的供應水源，優點為微生物汙染風險較低，但需經過除氯製程以降低餘氯對後續酒品造成不愉快的藥水味，且水質會受自來水廠的原水調度而受改變。如今，部分較大型的酒廠使用自來水為水源，通常先經處理後再添加水質調整劑調配出理想水質，以提升製程效率(糖化效率)或釀出特殊風格的產品。

除了氯會影響酒質外，水中的其他溶質也會，其中以鈣離子與碳酸根離子最為關鍵。根據水的溶質含量可分為硬水以及軟水，硬度又可分為暫時硬度以及永久硬度，兩者差異可視碳酸鈣、碳酸鎂、碳酸鈉含量而定。降低水的暫時硬度可將水加熱(或沸騰)來達成，如糖化熱水的準備。具碳酸根離子的化合物與氫離子進行可逆反應，形成碳酸氫根離子，可再繼續反應成二氧化碳。水在加熱或沸騰時，因氣體的溶解度在溫度高時較低，因此促使二氧化碳的逸出，促使水溶液中溶質濃度朝向新的化學平衡，促使氫離子被消耗，造成pH值提升。碳酸根離子的濃度決定了水的暫時硬度，硬度越高的水，在糖化前於熱水桶加熱時，pH值提升越多，pH值是決定酵素活性強弱的關鍵因素(後敘)，但越高的pH值也會導致麥麩溶出較多的單寧，甚至是影響後續啤酒花的利用率。在後續糖化過程中，水中的鈣離子會與由麥芽所溶出的植酸(phytic acid)，反應生成磷酸鈣，並釋放出氫離子。氫離子的釋出降低了麥汁的pH值，因此水中鈣離子的濃度決定了糖化酵素的活性，鈣離子又可抑制澱粉水解酵素的失活速度，影響最終麥汁的糖組成，同時也影響麥汁中殘餘磷酸根的濃度。碳酸根離子與鈣離子先後影響酵母的生長環境，具有左右酒品風味的功能。

鎂離子與鈣離子相似，但其化合物在水中溶解度較高，因此對產品影響相對較低。低濃度的鈉離子可給予啤酒甜味，鈉離子濃度為75-150mg/l可給予啤酒較厚實的酒體，高濃度的鈉離子則賦予鹹味。鉀離子與鈉離子作用相似，但鉀離子的濃度會影響到酵

素的作用效率。適當的錳離子(<0.2 mg/l)有利於酵母的發展，但濃度過高(>0.5mg/l)會抑制發酵，同時錳離子也會加速激發態氧的生成，造成酒液氧化。鐵離子主要賦予產品負面的金屬味，氧化味，同時提升啤酒混濁的風險，錳與鐵可能由製酒設備及管路溶出。胺根離子通常意味著水質受汙染，泥煤礦區附近的水源通常含有較高濃度的胺根離子及酚類化合物，或許是行銷手法，在泥煤礦區附近的威士忌酒廠宣稱是創造酒廠特色的因素之一。有研究指出水中胺根離子及酚類化合物對新酒的影響遠遠小於泥煤麥芽的影響，嚴格說可以忽略。銅離子通常由製酒設備中溶出(如銅製煮沸鍋與銅製蒸餾釜)，其具有酯化反應的催化能力，高濃度的銅離子會抑制酵母生產，蘇格蘭威士忌新酒都含有一定濃度的銅離子，推測可在酒液熟成時催化酯化反應，也有學者認為催化效果可忽略。鋅離子為酵母健全成長不可或缺的關鍵原料，常見於高比重釀造技術，同時鋅也是酵母養料(yeast food)的關鍵成份，酵母的擴培不能沒有鋅的存在。但濃度過高的鋅離子會抑制酵母成長，甚至毒化酵母。硫酸根離子由酵母或細菌生長所產生，可給予較乾、較苦的口感。硫酸根離子也來自於原水，因此許多酒廠會先將水質調整，以創造不同風味形式的啤酒。

許多現代化的啤酒廠會先將水處理後再使用，以降低因氣候變化(水質改變)導致成品風味的改變(如颱風或融雪)，尤其是少數以明水或是自來水為主要水源的酒廠特別顯著。水處理的第一步驟為沉澱、過濾製程，旨在降低固形物含量，後續再經生化處理或是水質軟化處理，利用紫外光照射法為常見滅菌方法。水質軟化通常可藉逆滲透法或離子交換法來降低釀造用水的硬度，隨後添加水質調整劑(如氫氧化鈣、硫酸及硫酸鈣)來設計出所適合啤酒風味的釀造用水。去離子水的處理程度最高，通常不用於釀造，主要用於成品酒的稀釋。可防止酒品在儲存時造成混濁(haze)或固形物析出(如草酸鈣)，並改變產品風味。仍有酒廠僅採用滅菌原水為稀釋用水的案例。在蒸餾廠操作中，除了稀釋用水及包裝容器的清洗用水可能會造成草酸鈣析出外，用於橡木桶測漏、清洗的水，若鈣離子含量過高也可能造成成品酒中的草酸鈣析出。

## 7.糖化

蘇格蘭麥芽威士忌及傳統英式啤酒的生產中，糖化(mashing)的主要目的是藉由麥芽中的酵素將胚乳中的澱粉水解，再分解成可發酵糖；而其餘啤酒如歐式啤酒，因普遍使用修飾度較低的麥芽，會多一或數道步驟，如葡聚糖分解階段(glucan rest)以及蛋白質分解階段(protein rest)。各步驟的製程參數是依據酵素最適作用環境而定。如 $\beta$ -葡聚糖分解酵素( $\beta$ -glucanase)在45度C時較活躍，設定起始糖化溫度於此階段可提升胚乳細胞壁的破壁作用，可提升澱粉粒的暴露量，尤其是在修飾(modification)較不

完全的麥芽更為顯著，如： $\beta$ -葡聚糖分解階段過低會降低最終萃出量，也可能會導致大分子的 $\beta$ -葡聚糖碎片溶至在麥汁中，導致麥汁黏度提升、過濾效率降低，部分啤酒廠採用添加外源性的 $\beta$ -葡聚糖分解酵素解決。用於威士忌的麥芽因修飾程度較高，通常較無此方面的困擾。蛋白質分解階段的操作理念相似於葡聚糖分解階段，操作溫度約在50~55度C，可提升麥汁中可溶性氮的含量。由於蛋白質分解酵素耐熱性差，故影響可溶性氮的最大溶出量大多在製麥時已決定。

最佳的糖化溫度是在62~68度C間，大部分的啤酒廠或威士忌酒廠都將糖化操作在此溫度範圍。澱粉水解酵素( $\alpha$ -amylase)的最佳作用溫度約70~75度C，最佳pH為5.6~5.8，主要以內切的方式將澱粉鏈分解成糊精，其酵素活性隨糖化時間增加而減少，越活躍的澱粉水解酵素會釋出越小分子鏈的糊精；澱粉糖化酵素( $\beta$ -amylase)的最佳作用溫度約在63~65度C，最佳pH值為5.3-5.5，於63度C的麥汁中約一小時失活。澱粉糖化酵素是以外切的方式，從澱粉或糊精釋出麥芽糖，酵素傾向作用在較大分子鏈的糊精，作用於小分子糊精的效率較差。因此，澱粉糖化酵素活性/澱粉水解酵素活性比值( $\beta/\alpha$ 值)為糖化效率的關鍵，可由糖化操作溫度以及pH值調整。麥汁中越高的 $\beta/\alpha$ 值(如較低溫糖化或低糖化用水pH值)可產出較多的可發酵糖，發酵力較高，但糖萃出率較低，麥汁比重較低。反之，高溫或高pH的糖化條件可獲得較多的萃出量，麥汁比重較高，但發酵後的酒醪比重較高，酒醪中非可發酵糖(小分子糊精)含量較高，可提升啤酒口感。

麥芽威士忌的釀造力求最高產酒量，因此偏向操作在較高 $\beta/\alpha$ 值，而穀物威士忌的操作更是如此，但糖化溫度過低會導致萃出量過低，故部分酒廠會添加磷酸來降低pH值以提高產率，美國波本威士忌工業則是將蒸餾廢液(酸醪)回收，調入釀造用水，以降低糖化起始pH來提升 $\beta/\alpha$ 值。啤酒因需要保留有部分糊精(不可發酵糖)來提供啤酒口感，因此糖化溫度通常較高，但高比例副原料的啤酒配方，可能還是會採用低溫或低pH值來強化糖化酵素的作用效果。糖化過程中麥汁的pH約略會降低0.4，主要是由麥芽溶出之植酸(phytic acid)與鈣離子結合所釋放出氫離子所致，pH值的降低可提升糖化後段 $\beta/\alpha$ 值，在糖化過程中，鈣離子具有減緩澱粉水解酵素失活的效果，因此可提升糖化效率，更多糖化用水之pH值與鈣離子的討論可在糖化用水一節查閱。

目前主流的糖化可分為三個主要方式：

1. 一次萃取法(infusion)：主要是以固定溫度的糖化用水混合麥粉，於糖化槽中進行澱粉的分解，需要使用修飾程度較高的優等麥芽，如傳統的英式啤酒或蘇格蘭威士忌的生產。若採用 $\beta$ -葡聚糖分解程度較差的次等麥芽，會大幅降低糖化效率。

2. 煮沸法(decoction)：可適用於修飾程度較次等的麥芽。從較低的糖化溫度開始，於糖化槽中進行葡聚糖分解階段( $\beta$ -glucan rest)，隨後取部分麥汁進入煮沸鍋，將澱粉完全糊化，再泵回糖化槽與剩餘麥汁混合，麥汁溫度可提升至蛋白質分解階段(protein rest)或直接提升至主要糖化階段，經一次煮沸(一次升溫)的稱為一次煮沸法，兩次的稱二次煮沸法。以此類推，此法需要一座糖化槽以及一座煮沸器。缺點為每煮沸一部份麥汁的同時，會損失一部份的酵素。現代化的啤酒廠會採溫度控制器進行多階段的升溫，施以額外熱源(噴入蒸汽或熱水夾套)提升麥汁溫度，但在若流動性不佳的麥醪容易會有加熱不均的現象，此法稱為程序升溫法(programed mashing)。
3. 雙醪法(Double mashing)：適用於副原料(adjunct)的糖化條件與麥芽糖化條件差異大的配方，此法需一座糖化槽以及一座穀物醪糖化槽(煮沸器)。麥芽首先於糖化槽中低溫糖化，以保留酵素活性並進行葡聚糖分解階段( $\beta$ -glucan rest)，稱麥醪；副原料會混入些許麥芽，通常先操作在澱粉水解酵素( $\alpha$ -amylase)最佳作用溫度，將部分的澱粉水解，再升溫至煮沸以展開澱粉鏈，稱穀物醪。穀物醪最後打回糖化槽中與麥醪混合，溫度提升至澱粉糖化酵素( $\beta$ -amylase)的最佳作用溫度進行糖化，隨後混合醪的升溫方式與煮沸法相同，亦可適用程序升溫法(programed mashing)。

## 8. 麥汁過濾

此製程係以麥麩為濾床過濾麥汁，以達將含糖麥汁與麥粕分離的目的，同時以水淋洗(sparging)殘留在麥粕中的可萃出物，此一連串動作稱為濾排(run-off)。此階段通常於三種類型設備中進行。

第一種是在糖化槽中進行麥汁分離，該糖化槽可稱為半勞特槽(semi-lauter tun)。槽頂設有淋洗管、槽底設有楔型開孔的假底，先進的糖化槽設有犁(rake)，旨在切割濾床以提升生產效率。此槽特色為，過濾與糖化皆在同一個槽裡進行，缺點為生產效率較差，但因設備價格便宜與佔地面積小，廣泛的用於蘇格蘭威士忌蒸餾廠及精釀啤酒廠。糖化後的麥醪，於槽中藉由麥麩形成濾床，麥汁透過麥麩濾床經假底流入槽底，再泵回循環直到濾出液澄清後，轉入麥汁槽收集。

淋洗的水溫較糖化用水高，淋洗的同時收集含糖較低的濾出液，淋洗用水的溫度可分階段提升，直到濾出液無收取價值。另一種策略為高速的泵出濾出液，直到濾床緊密(濾

排速率降低後)，在由底部逆洗，並用耙快速翻動濾床，待濾床重製後，再泵出過濾液，每次濾出液的糖度較前一次低，重覆此動作四次即可完成濾排。

第一次淋洗用水的水溫通常落在澱粉水解酵素( $\alpha$ -amylase)最佳作用溫度區間(70~75度C)，以將殘餘澱粉水解。隨後再以更高溫的水進行淋洗，洗出殘留在麥粕中的可萃出物。在啤酒的操作中，淋洗水之溫度最高不超過80度C，以避免提升過多的麥芽單寧，導致成品酒帶有澀感，適量的單寧可促進較多的渣(trubs或breaks)析出，以得較清澈的麥汁。在威士忌的操作中較無單寧的顧慮，常見以80~90度C為最後一段的淋洗用水的溫度，旨在將麥粕中的可萃出物全數溶出。濾出液的收集前幾道含糖料高，會進入發酵系統，而後段濾排所得到的濾出液含糖量較低，通常回收用於下一批次的糖化。

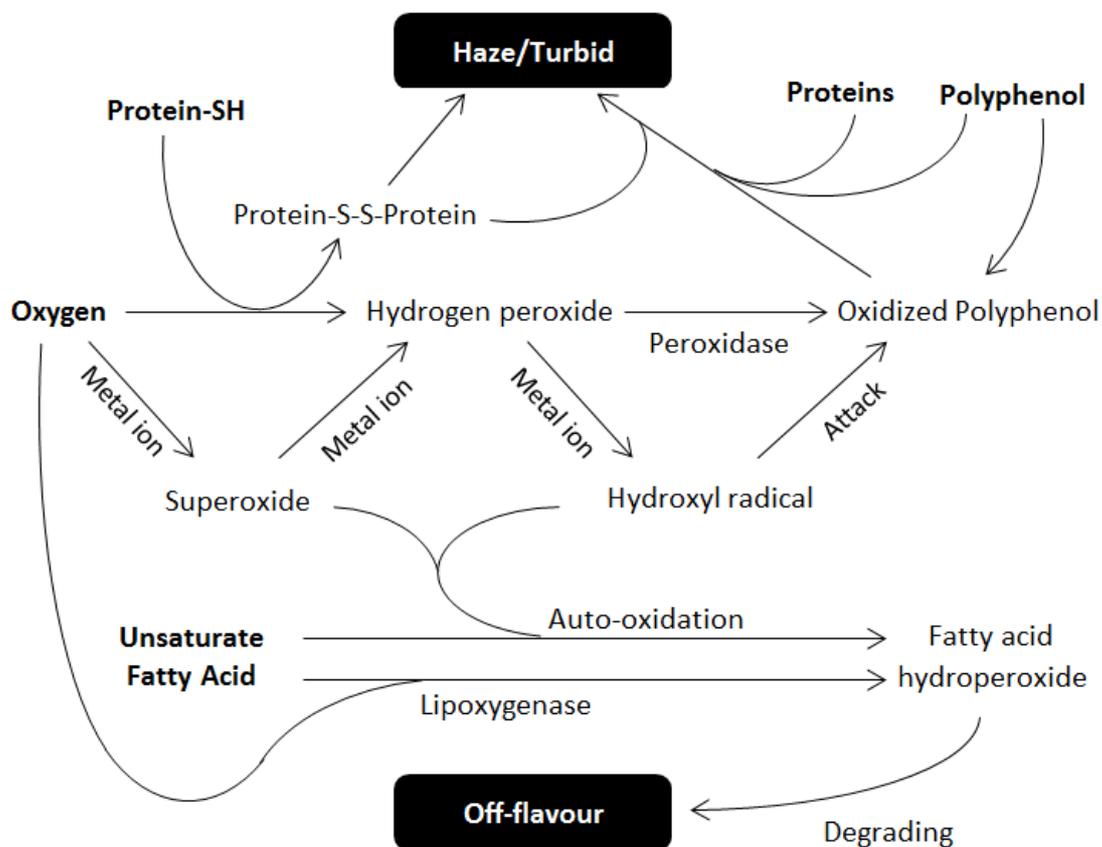
第二種麥汁分離設備為勞特槽(lauter tun)，操作理念與糖化槽相同，但將麥芽的糖化(糖化槽)與麥汁的分離(勞特槽)分開，可大幅提升生產效率。相較於上述糖化槽(半勞特槽)，勞特槽的逕流面積較大，濾床高度較薄，可大幅提升濾排(run-off)速率，其操作策略與上述糖化槽相似。但有設備佔地大，且造價昂貴的缺點。

第三種為壓濾機(mash filter)，利用壓力氣囊擠壓麥麩濾床，將麥汁從濾床中榨出。可非常有效的降低麥粕的含水量，可適用於黏度較高的麥汁，僅需使用少量的水即可高效的洗出可萃出物，可產出非常高比重的麥汁，常用於高比重釀造。通常壓濾機會搭配槌式粉碎機(hammer miller)操作，可針對低修飾程度的麥芽進行糖化。此類型的搭配常見於啤酒廠，僅有少數個案用在威士忌酒廠。

## 氧化

氧氣的入侵是導致啤酒混濁以及脂肪類氧化形成不良氣味的因素之一，負面的氧化味以具有濕紙板味的 *trans*-2-nonenol 影響最為顯著，在學術界廣為討論，因此被學科教授指派為作業。造成脂肪/脂肪酸氧化機制及關鍵影響時機至今仍處於爭論，多種不同的假設都有其擁護的學者。歸納氧氣造成啤酒混濁以及脂肪氧化的關係如下圖：在製麥或釀造製程間侵入的氧氣可在金屬離子(如鐵、銅及錳離子)的催化或酵素作用下形成激發態氧(activated oxygen)，如超氧(superoxide)、過氧化氫(hydrogen peroxide)及羥基自由基(hydroxyl radical)。過程中，氧氣能造成含硫蛋白質交聯，激發態氧可被酚類(單寧)還原，再與蛋白質交聯，造成固形物析出與濁度上升。有學者主張氧氣主要透過脂肪氧化酵素，將不飽和脂肪酸氧化。也有學者主張是激發態的氧透過非酵素催化機制，將不飽和脂肪酸氧化氧化(auto-oxidation)。氧化後的產物-脂肪酸氫過氧化物(fatty acid hydroperoxide)在糖化、過濾、發酵甚至裝瓶後的啤酒，會藉

由一系列的降解機制，先後形成低嗅覺閾值的不愉悅風味物質，如 *trans*-2-nonenol。然而，另一個關鍵反應物—不飽和脂肪酸—的大量產出時機是在製麥階段或是釀造階段，在學術界又是另一系列的爭論。



有學者在完全隔絕氧氣的環境(氮氣環境磨麥、糖化及使用脫氧水)下，進行啤酒的釀造。但是成品酒風味並未有顯著提升。從1985到2014年的學術研究仍未有明確且廣為認可的結果。但在現代化的啤酒廠大都已採用氣密性較佳的設備，因此大多學者同意已經沒有必要在更進一步的隔絕氧氣，但避免氧氣大量的接觸釀造過程中的液體，是減少 *trans*-2-nonenol 前驅物生成的必要措施。

## 9. 麥汁煮沸

此製程為生產啤酒特有的步驟，威士忌麥汁則跳過此步驟進入發酵。麥汁煮沸的目的—一開始是為了滅菌，但隨後發現麥汁煮沸可終止麥汁酵素的作用，以固定麥汁的糖及糊精組成，提升啤酒品質的穩定性。同時，啤酒花的添加及其添加時機，可賦予麥汁苦味以及香氣。在煮沸科學中，整理麥汁煮沸效果如下：

1. 濃縮麥汁
2. 加速由啤酒花溶出萃出物(如  $\alpha$  酸、 $\beta$  酸及精油)
3. 將  $\alpha$  酸異構化，增加苦味
4. 溶出啤酒花單寧，促進渣的(trubs)析出，降低混濁風險
5. 產生的風味物質二甲基硫(DMS)，部分DMS會隨沸騰而散失
6. 蛋白質可與糖類在高溫下進行梅納反應，賦予麥汁色度以及香氣
7. 麥汁溶氧量隨沸騰而降至定值，可穩定發酵時的酵母表現。
8. 熱渣(hot breaks)的生成
9. 加速草酸鈣的生成

釀造用水的pH值與鈣離子濃度也會影響麥汁煮沸的表現，高pH可提升啤酒花的利用率，也改變蛋白質變性、析出及梅納反應的環境。鈣離子濃度的提升，可促進蛋白質交聯，並提升渣及草酸鈣析出量，析出之固形物可在過濾時移除，降低未來啤酒混濁的風險。啤酒花的使用會在啤酒花一節再敘。

麥汁的煮沸可分為直接加熱法及間接加熱法。前者於鍋底燃燒石化燃料或以電熱裝置加熱，鍋內可設有導流版，加強麥汁在鍋裡的擾動狀況(請參考Caledonian啤酒廠觀摩一節)，傳統煮沸器為銅製，故煮沸器原名為copper，如今多採用不鏽鋼製煮沸器，也稱為kettle。間接加熱法為於煮沸鍋中，設有罐(管)式的熱交換器，通以高壓熱水或蒸汽，低溫麥汁由罐底藉自然對流入，於罐中加熱/沸騰產生湧流，加速擾動現象。此種藉自然對流的加熱方式能源效率高且造價便宜，但清洗較為不易。許多啤酒廠設有外部加熱器(external heater)的設計，麥汁可藉密度差或在泵的協助下，進入外部加熱器受熱後，再回到煮沸器。造價較貴且能源效率較低，但煮沸器可直接作為漩渦槽(whirlpool)來分離麥汁與渣。外部加熱器可設有較大的熱交換面積，以達快速加熱的效果，同時，一組外部加熱器可對應多組煮沸器，有較高的操作靈活性。

無論是啤酒麥汁的煮沸或是威士忌酒醪的蒸餾，都屬於液體在固體表面受熱沸騰的操作。可分為麥汁的加熱，以及麥汁的蒸發。在加熱初期，過高的溫度差易造成加熱表面結垢現象(fouling)，會大幅降低後續的加熱效率，並造成焦味。蒸發時可依固-液界面溫度差，由小到大分成三個階段：強制對流、核沸騰(nucleate boiling)及薄膜沸騰(film boiling)。其中，熱傳效率以核沸騰最高，若溫差高到達薄膜沸騰階段，在加熱表面會形成蒸汽膜，氣膜會導致熱傳效率減低，進而增加加熱時間，可由調整能源的輸入(蒸汽壓力或燃燒氧氣供應量)來控制。在沸騰操作中，加熱表面的粗糙度、材質可潤濕性及表面結垢影響核沸騰的成核效率。另外，加熱流體、加熱器之熱傳係

數、結垢因子等，都是影響加熱及沸騰效率的主要因素。

## 10. 麥汁除渣

無論是煮沸後的啤酒麥汁，或是離開糖化槽的威士忌麥汁，都需經過冷卻後，方可投入發酵槽，而啤酒麥汁冷卻前，會經過第一階段的澄清。啤酒麥汁會有大量的啤酒花懸浮在麥汁中，與蛋白質析出物等固形物合稱為渣(trub)。將麥汁與渣分離的方式有很多，如今大多數的啤酒廠都採用旋渦槽(whirlpool)，在麥汁冷卻前先將渣集中，藉此分離出麥汁。惠而浦系統是將含渣麥汁以低於與桶槽切線30度角的方向高速噴入，麥汁在桶槽中造成渦旋，停止動能輸入後，槽內液體依慣性打轉，並在桶槽中心形成上升流，桶側形成下沉流，當液體動能逐漸降低後，上升流無力升起渣(trub)，而下沉流與桶體側向流將渣持續帶至桶中心，啤酒廠會隨後開啟中心卸渣口將渣(trub)移除，並獲得少渣麥汁。除渣麥汁可經冷卻後直接送入發酵桶發酵，亦有啤酒廠對少渣麥汁行再除渣，並以澄清麥汁發酵，其中以拉格(lager)型啤酒較為常見。

再除渣與否好壞參半，可分為兩派。含渣量高的混濁麥汁在發酵中，渣可成為二氧化碳的晶核，因此促進二氧化碳的溶出，加速酵母初期成長；反之，若使用絮凝性(flocculation)較強的酵母株，酵母附著於渣而加速沉降/或懸浮，因此降低後段發酵效率。擁渣派聲稱渣中含有較豐富的脂肪類，可能成為酵母成長養分來源之一，促進酵母量的提升，不除渣可增加酵母成長代謝物質；除渣派認為渣在長時間的發酵過程，渣可能釋出不討喜的風味物質，也提升脂肪酸氧化的風險，同時，渣亦可能在發酵過程中，吸附啤酒花精油，降低啤酒花香氣。

威士忌麥汁通常不經除渣直接冷卻，使用套管式熱交換器冷卻的麥汁可直接泵入發酵桶，若使用易堵塞的熱交換器，可將熱麥汁經過濾後再冷卻。

## 11. 啤酒花

未經香料調味的啤酒，口感偏甜且容易膩。在歷史上，曾嘗試過多種的藥草來調味啤酒，如今較常見的為啤酒花與薑。啤酒花(hop) 其精油可提升啤酒豐富的香氣表現，酒花中的 $\alpha$ 酸經異構化後賦予啤酒苦味，可平衡啤酒風味，啤酒花同時具有抑制革蘭式陽性細菌的效果，提升了啤酒的保存期，因此廣泛的被啤酒廠採用。啤酒花的有效成份可分為 $\alpha$ -酸( $\alpha$ -acid)、 $\beta$ -酸( $\beta$ -acid)以及啤酒花精油。兩種酸皆具微弱的苦味，但在麥汁煮沸時會產生異構化後，異構化的 $\alpha$ -酸(iso- $\alpha$ -acid)相較於異構化 $\beta$ -酸(iso- $\beta$ -acid)具有顯著的苦味，是啤酒苦味的主要來源。除此之外，啤酒花溶出之

蛋白質可提升啤酒氣泡的穩定性，且由啤酒花溶出之多酚，除了抑制氧氣對熱麥汁的影響外，亦可與部分蛋白質反應，提升渣的產量，可降低未來啤酒混濁的風險。啤酒花依使用方式可分為香氣型啤酒花(aroma hop)與苦味型啤酒花(bitter hop)。香氣型啤酒花有較高的精油比例，可提供成品啤酒獨特的啤酒花風味，如美國啤酒花品種中的Citra、Cascade與Bravo富含較多的香葉醇(geraniol)與芳樟醇(linalool)，可賦與啤酒柑橘系(citrus)的風味。苦味型啤酒花含有較高含量的 $\alpha$ -酸，主要提供苦味。

$\alpha$ -酸在麥汁煮沸的過程中，會隨煮沸時間的增加提升異構化的程度，但啤酒花精油會隨時間的增加而大量逸散。因此苦味型的啤酒花通常在麥汁煮沸初期投入(hopping)，以提升 $\alpha$ -酸的利用率；香氣型啤酒花則在停止能源輸入後投入，以降低精油的因蒸散所造成的損失。當然亦有啤酒廠分多次添加啤酒花，亦有全程使用香氣型啤酒花的啤酒產品。啤酒花除了可在煮沸製程使用，亦可在麥汁冷卻後，進入發酵桶前投料，隨麥汁長時間的發酵過程萃取啤酒花精油，相較於煮沸時添加可保有更高的精油殘留量，但啤酒花的存在會影響發酵時的酵母表現。因此，有啤酒廠在啤酒發酵完成後，將酒液循環至裝有啤酒花的桶槽(dry hopping)，以萃取啤酒花精油，可獲得更高濃度且更新鮮的啤酒花風味。

乾燥的啤酒花在啤酒工業的應用有幾個缺點，其中最主要的就是假比重過低，無法有效提升運輸及儲存效率，且啤酒花容易氧化，導致久存的啤酒花效用減低。也因如此，造就了許多啤酒花衍生產品(hop product)問市，如啤酒花顆粒(pallet)、異構化產品、精油等，其簡易介紹如下表：

啤酒花衍生產品	製作方法	使用方式
非異構化之啤酒花衍生產品：主要用於取代傳統啤酒花		
95 型啤酒花顆粒	將粉碎之乾燥啤酒花進行造粒	煮沸初期
45 型啤酒花顆粒	同上，但移除葉子	
銅鍋抽出物(甲醇法) Kettle extract (Methanol)	濕式研磨啤酒花後，以甲醇萃取有效成份	
銅鍋抽出物(二氧化碳法)	以超臨界態之二氧化碳萃取啤酒花有效成份	
異構化之啤酒花衍生產品：提升苦味質		
異構化顆粒	粉碎啤酒花混合鎂鹽後造粒 並於 45-55°C 下進行異構化	煮沸末期
異構化之銅鍋抽出物	將鎂鹽加入銅鍋抽出物(二氧化碳法)	煮沸

(Isomerised kettle extract, IKE)		
異構化抽出物 Iso-extract	調整 pH 將 iso- $\alpha$ -acid 從 IKE 分離，副產物為 $\beta$ -acids 與啤酒花精油	發酵後期(後發酵)
強化風味型之啤酒花衍生產品		
100 型啤酒花顆粒	將乾燥啤酒花(帶葉)造粒	裝樽熟成前(樽藏啤酒)
$\beta$ -酸抽出物 (Beta extract)	異構化抽出物之副產品	煮沸
啤酒花精油	以精餾的方式萃取溶於二氧化碳的啤酒花精油	後發酵
啤酒花香精 (Hop essence)	以分餾的方式取得啤酒花精油裡的單一成份	過濾前

異構化的  $\alpha$ -酸(iso- $\alpha$ -acid)具有光敏感性，會在光線照射下造成結構破壞，斷鍵後的碎片會與啤酒中之硫化物形成日光臭(MBT)，其以瓶裝啤酒最為顯著。此外，具有良好泡沫穩定性的啤酒常受到消費者的青睞，但礙於許多啤酒的原物料或製程限制，無法提供較佳的泡沫穩定性，部分高度加工的啤酒花的衍生產品，可有效阻絕MBT的形成，也可提升泡沫穩定性，分類如下表：

異構化抽出物(Iso-extract)之衍生產品：提升苦味質、光穩定性與泡沫穩定性		
啤酒花衍生產品	製作方法	使用方式
Rho-iso- $\alpha$ -acids (Rho)	將硼氫化鈉與 Iso-extract 反應 (光穩定性提升)	煮沸 啤酒轉桶
Tetrahydroiso- $\alpha$ -acids (Tetra)	以白金/碳為觸媒對與 Iso-extract 進行氫化反應 (泡沫穩定性及光穩定性提升)	啤酒過濾前
Hexahydroiso- $\alpha$ -acids (Hexa)	以白金/碳為觸媒對與 Rho 進行氫化反應或將硼氫化鈉與 Tetra 反應 (非常優異的泡沫穩定性)	發酵末期

進年來，精釀啤酒在世界各地逐漸盛行，許多的英國精釀啤酒廠因生產設備限制，難以生產多元化的產品，導致許多精釀啤酒廠生產數種基本款啤酒，採以添加啤酒花衍生產品(hop product)的方式，創造多品項的精釀啤酒應市。雖啤酒花衍生產品價格較傳統啤酒花昂貴，在整體考量下，不失為提升產業競爭力的方案之一。

## 12. 酵母

發酵係以仰賴酵母菌將麥汁中的可發酵糖轉化成酒精與二氧化碳。在啤酒釀造中，最關鍵的酵母可分為頂層發酵酵母(ale yeast)與底層發酵酵母(lager yeast)兩種，其差別在於酵母絮凝時，酵母表面性質的不同。在發酵中期，當可發酵糖逐漸耗竭後，酵母表面性質因酒醪環境而改變(如pH)，其中，鈣離子會觸發酵母表面蛋白質型態改變，使其具有螯合效果，因此可與其他酵母細胞表面的甘露糖結合，發展成酵母群，稱為絮凝(flocculation)。其絮凝後的型態與酵母株有關，以頂層酵母為例，細胞表面較為親油，吸附二氧化碳氣體後，易浮升至酒醪頂層，直到發酵末期再度落下。早期，釀酒廠藉酵母的絮凝特性，由酒醪頂層收集酵母(crop)，篩選出表現較佳的酵母株。如頂層發酵酵母為可在較高的溫度中發酵，酒精耐受度較高，並可產生較多且豐富的香氣。

底層發酵酵母亦具有絮凝特性，如其名絮凝後沉至底層，於歐洲巴伐尼亞區篩選而得，其中在丹麥的嘉士伯(carlsberg)實驗室成功分離，因此底層發酵酵母曾被稱為 *S. carlsbergensis*。底層酵母發酵效率較強，可發酵頂層酵母不能代謝的蜜二糖，且在低溫發酵效果較佳，可產生風味清淡爽冽的啤酒，但酒品瑕疵容易被放大，因此工藝需求較高。其中，以皮爾森型拉格啤酒(Pilsner lager)聞名。因其口味清爽，續飲性高，大多商用級的啤酒廠主要生產此型啤酒。如今兩種型態的啤酒酵母定位已不如以前明顯，啤酒廠即使是使用頂層酵母，也鮮少於啤酒頂層刮除酵母(crop)，大多待酵母沉降後於桶底收集(如同底層發酵酵母操作)。如今在形式上僅可由最適發酵溫度做區分。

蒸餾酵母(distilling yeast)被推測是源自於雜交種酵母，主要訴求為最大化酒精產率。為因應威士忌的生產條件(麥汁不煮沸、發酵不控溫、高比重發酵、不回收酵母、乳酸發酵以及直接蒸餾酒醪)，因此蒸餾酵母通常具有較高的溫度耐受性、快速初期發酵、可耐受較高的糖濃度、較佳的酒精抗性以及較低的絮凝特性(絮凝後的酵母容易於蒸餾時於加熱表面焦化)。由於威士忌的生產通常不回收酵母，且發酵後期的乳酸發酵有助於風味形成，因此威士忌蒸餾酵母在發酵48小時後，存活率普遍低於50%。許多蒸餾廠不只使用單一菌種酵母，他們相信混用蒸餾酵母與啤酒廢酵母(spent brewing yeast)可賦予發酵後酒液更豐富的果香，且廢酵母可減緩發酵過程中pH值的降低速度，可提升游離限制糊精酵素的作用時間(後敘)，以提高酒精產率。混用廢啤酒酵母(spent ale yeast)曾經風行一時，大多數蒸餾廠在當時藉此法獲得較豐富的果香。但由於廢啤酒酵母品質穩定性不佳，儲存與運送過程常造成雜菌感染，若非鄰近於啤酒廠，難

以獲得穩定的廢酵母源，直接影響到蒸餾廠的酒精產率與威士忌成品的風味穩定性。如今，採用此法的蒸餾廠的數量已大不如前。

### 13. 啤酒發酵

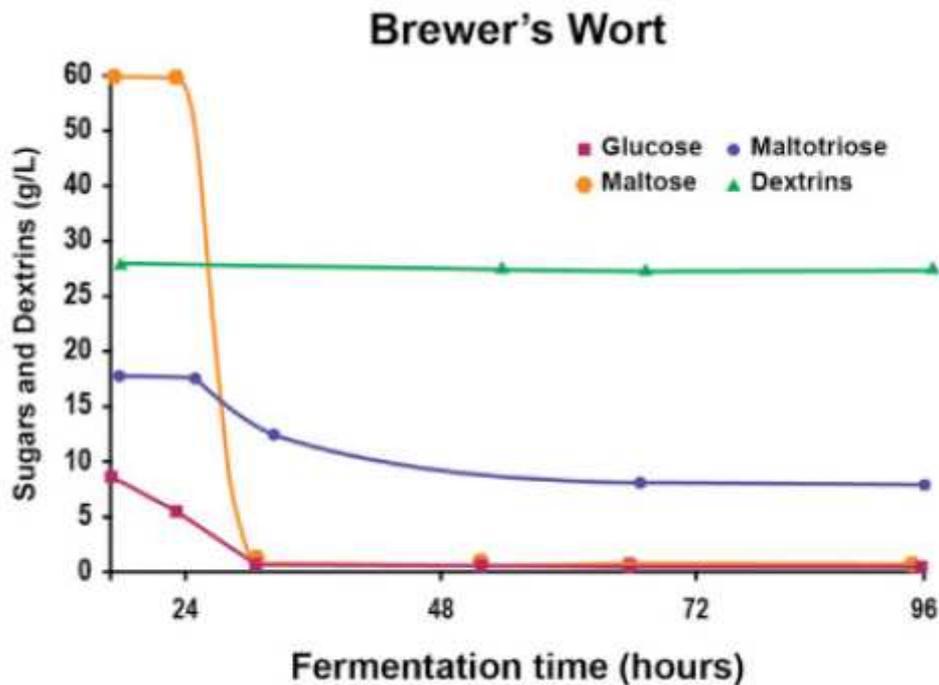
啤酒普遍回收上一批發酵的酵母於下一批投料，可穩定產品風味且降低生產成本。因酵母在發酵後期可視為處在資源較為貧乏且高壓(stress)的環境，導致健康狀況不佳的酵母死亡，且自體分解(autolysis)釋放出養分。較健康的酵母逐漸停止發酵作用(anaerobic fermentation)，並由麥汁中吸收養分並儲存能量以延續生命，並轉入休眠狀態。啤酒的發酵通常可依回收酵母的時機，分成前發酵及後發酵，前發酵可再細分為下列幾個階段：

#### *延遲期*

啤酒廠通常會依酵母的使用次數，選擇性的收集酵母(crop)，其中狀況較佳的飢餓酵母在接觸到含氧麥汁時，由休眠狀態甦醒並轉為行呼吸作用，首先利用單糖(如葡萄糖及果糖)，合成成長所需的能量，如糖原(glycogen)，並利用麥汁的溶氧自行合成細胞分裂所需之養分(如脂肪酸或固醇)。由於此階段酵母以呼吸作用(有氧發酵)為主，即使有少量的無氧發酵，其釋出的二氧化碳會先溶於麥汁中導致無二氧化碳的溢出，因此麥汁平靜且無法觀察氣泡湧出，故稱為延遲期(lag phase)。

#### *成長期*

酵母吃飽喝足後開始進行細胞分裂，每一次分裂，子株會從母株取得二分之一的養分，因此酵母細胞內的養份減半，酵母再從麥汁中攝取養分。為了控制酵母較穩定的成長表現，啤酒廠通常會控制麥汁中的溶氧量，如將空氣打入熱麥汁，或以無菌空氣打入冷麥汁或直接打入發酵桶。高比重釀造需投入較高劑量的酵母，通常分階段於發酵中打入無菌空氣或氧氣。然而，過量的氧氣供應會消耗過多養分在提升酵母量(biomass)，而減低酒精產率。當麥汁中單糖耗竭後，酵母轉為攝取麥芽糖、麥芽三糖等糖類，糖類的攝取與酵母表面的通道及酵素有關，麥汁中糖組成變化如下圖。此階段可視為有氧及無氧發酵並行，當麥汁中溶氧量減低後，有氧發酵隨之減緩，無氧發酵逐漸主導此階段，溶於麥汁之二氧化碳迅速累積，當二氧化碳過飽和後，會於晶核點(如：渣及桶壁)析出，並釋出二氧化碳氣體。此階段酵母數大幅提升，稱為成長期。



#### 高泡期

當麥汁中氧氣耗竭後，轉成無氧發酵，酵母大量成長，可發酵糖迅速的被酵母利用，酒精濃度快速提升，並產出大量的二氧化碳，直到可溶性氮減低後，酵母成長才逐漸趨緩，此階段稱為高泡期。高酒精產率的酵母株可較不受可溶性氮耗竭的影響，延長進行無氧發酵。

#### 衰減期

當麥汁中可發酵糖耗竭後，酵母細胞表面蛋白質開始轉變，鈣離子隨後觸發葡聚糖－甘露糖－蛋白質的結合機制，絮凝現象漸強。同時因無氧發酵作用減弱，由二氧化碳造成的流體擾動隨之減弱，固形物(如渣、死酵母及絮凝酵母)開始沉澱，稱為衰減期。啤酒廠會在酵母沉降後收集絮凝酵母(crop)，並轉入酵母槽或酸洗槽做下一批次的發酵貯備。

#### 啤酒的後發酵

將絮凝的酵母與啤酒分離後，留在酒液的懸浮酵母就扮演著抑制啤酒氧化、雙乙酰(diacetyl)的移除及丁二酮生成的任務。含酵母啤酒若接觸到空氣，酵母會吸收氧氣並合成細胞膜所需物質，因此具抑制啤酒氧化的效果，如樽藏啤酒(cask beer)就是不移除酵母且在樽中進行後發酵的一種傳統啤酒。雙乙酰於部分類型啤酒(如lager)視為負面氣味，因可在後發酵移除，所以後發酵又稱lagering；反之，雙乙酰於部分類型的ale、stout及精釀啤酒被視為指標型氣味，在威士忌的生產又可提升產品的風味複雜度，故屬於正面風味物質，故後發酵期較短。

後發酵可賦予熟成啤酒的特質，具有移除青啤酒味以及澄清酒液的效果。在過去，長達數月的後發酵是獲得清爽且清澈拉格型啤酒的關鍵，如今可由溫度控制與助劑的協助下，於一到三週內達成。啤酒廠通常用之助劑及其用途如下表：

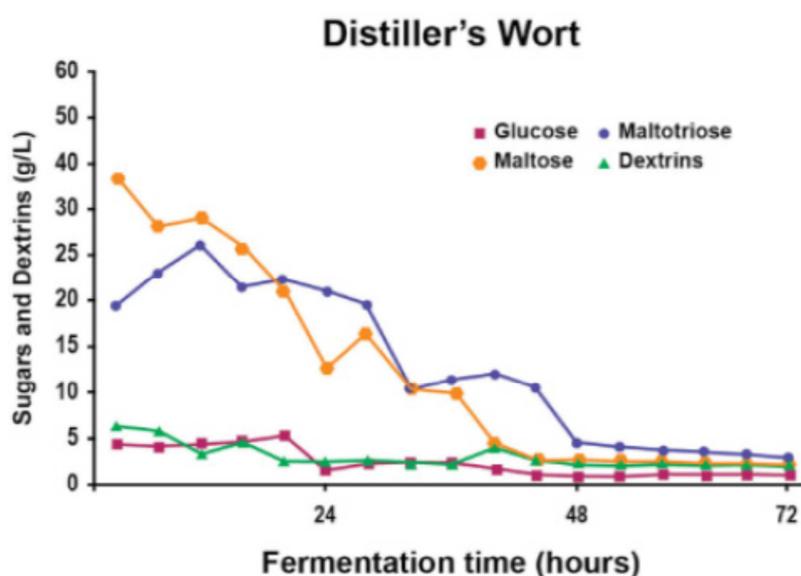
助劑類行	目的
非酵素型助劑(如魚膠、鹿角菜膠、膨潤土、矽膠、PVPP…等)	加速酵母、蛋白質或單寧等物質的聚集，降低過濾後啤酒混濁(haze)風險
酵素型助劑(如蛋白質分解酵素、葡聚糖分解酵素…等)	降低啤酒混濁、噴湧(gushing)的風險，並調整口感
液態副原料(如糖漿)	提升二氧化碳含氣量(用於瓶中熟成啤酒)
啤酒花衍生產品	風味、苦味、氣泡穩定性及抗光敏感性調整

## 14. 威士忌發酵

威士忌的生產不同於啤酒，普遍不回收酵母且發酵不控溫，所以發酵末期酵母會在發酵桶內，因養分的耗竭、高溫及高濃度酒精環境，逐漸凋零。酵母細胞自體分解 (autolysis) 所釋放出養分，可供其他較健康的酵母利用直到酵母死亡殆盡，也可被其他微生物攝取，其中較為顯著的是乳酸菌。乳酸菌主要源自於麥芽，其耐熱性高，可撐過糖化時的高溫環境，因威士忌麥汁不經煮沸，故可延續至發酵待機茁壯。由於乳酸菌可產生在威士忌裡被視為風味物質前驅物的乳酸，許多蒸餾廠刻意延長發酵時間以延長乳酸發酵時間，但乳酸菌會代謝甘油產生辛辣物質 (acrolein) 的前驅物 ( $\beta$ -Hydroxypropionaldehyde)，因此也不宜發酵過久。由於乳酸菌會與酵母菌競爭養分，若乳酸菌濃度過高會減少酒精產率，如發酵初期，乳酸菌數若低於  $1 \times 10^5$  則對酒精產率影響較不顯著，且可在後段發酵產生更多風味物質前驅物；而乳酸菌數若大於  $1 \times 10^6$  cell/ml 則會損失 1% 以上的酒精產率。一般來說，用於威士忌之酵母通常可容許一定程度的乳酸菌存在，刻意植入乳酸菌株的威士忌酵母也不罕見。

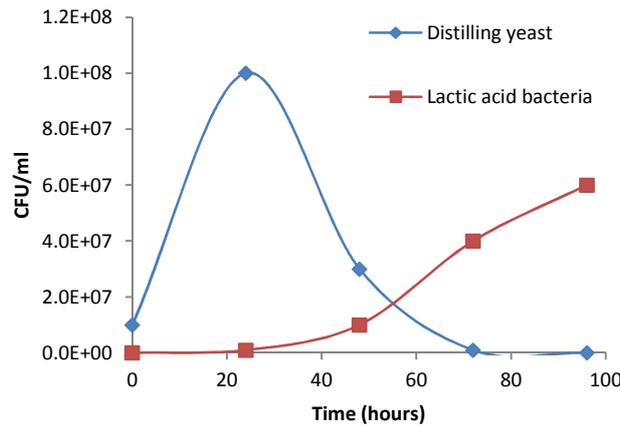
蘇格蘭威士忌蒸餾廠普遍使用由酵母廠購入商用酵母 (commercialized yeast)，由於酵母是在供氧、含糖且營養充足的環境下增殖，因此大多可儲存足夠的能量於細胞內，所以威士忌酵母相較於啤酒酵母具有較短的延遲期，可較快速進入成長期，已達快速發酵的訴求。由於威士忌麥汁不經煮沸，可保留部分酵素於發酵階段繼續作用，其中

以具有繼續水解糊精並提升酒精產率能力的游離限制糊精酵素 (free-limit-dextrinase) 最受關注。游離限制糊精酵素於糖化時的溫度及pH環境迅速失活，但在發酵中，隨著pH值的減低，游離限制糊精酵素活性將再度復甦，並在pH為4.4時最為活躍，隨後活性再度減低。游離限制糊精酵素的甦醒機制目前仍不清楚，學者指出於製麥過程中，發芽時若歷經較長時間的無氧階段，可提升限制糊精酵素於未來發酵時的活躍性，但相對的，過長的無氧發芽會悶死大麥並抑制其他酵素活性。由於限制糊精在發酵時可持續釋出可發酵糖，因此威士忌麥汁中的糖組成變化，遠較啤酒麥汁更為複雜，其中包含了糊精的降解及簡單糖的生成及被代謝(如下圖)。雖蒸餾酵母所攝取的糖源順序與啤酒酵母相似，但由於麥汁糖組成的不斷變化，可不斷的攝取由糊精產出單糖，因此酵母的活動模式相較於啤酒複雜許多。



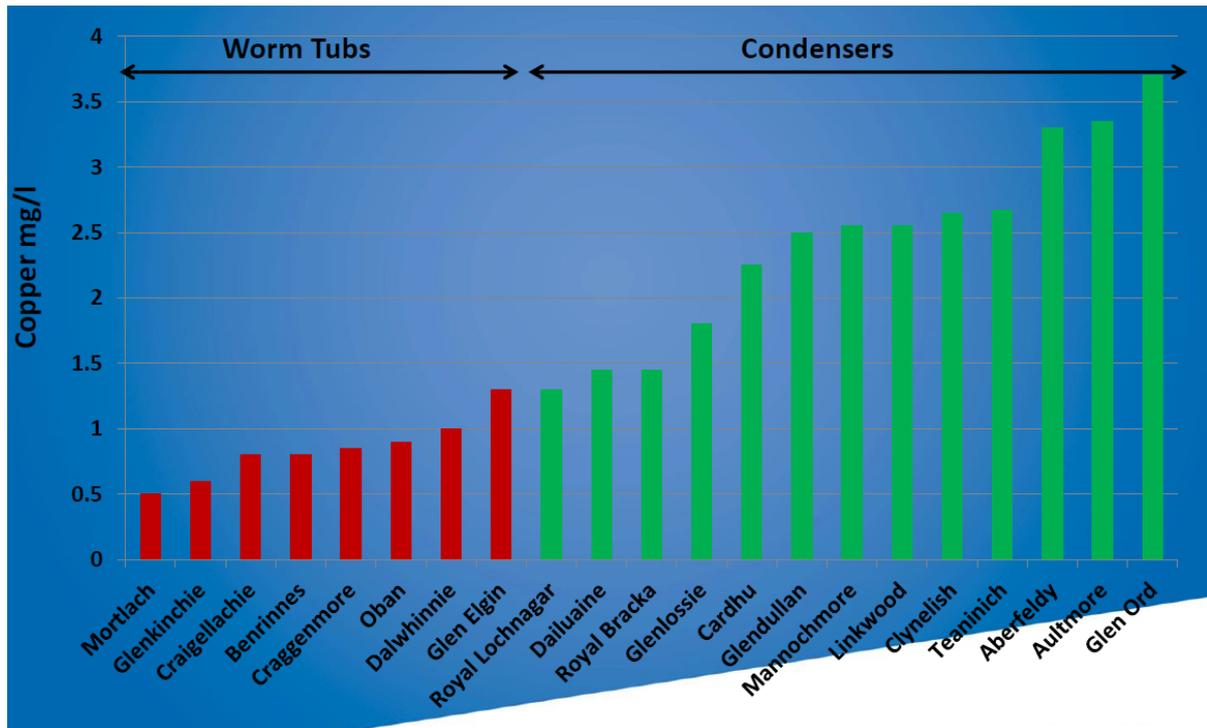
以蒸餾酵母發酵的酒醪，通常可於40~48小時完成酒精發酵，隨後進入蒸餾製程。過早進行初餾的酒醪，除了會給予蒸餾酒較顯著的草味外，也會在初餾操作過程造成較嚴重的氣泡湧出現象。含蛋白質的酒醪若湧出進到精餾系統，會提升致癌物生成的風險，且造成新酒辛辣，部分蘇格蘭蒸餾廠會投以天然消泡劑抑制此現象，以降低操作人力的需求，大多在6小時內完成蒸餾（南投酒廠為6~10小時）。一般蘇格蘭蒸餾廠會發酵45小時以上，較常見的發酵時間為50~70小時，目的為引出後乳酸發酵的代謝產物，亦有長達110小時的發酵的案例。發酵時間越長，香氣複雜度越高，奶油味(diacetyl)提升，酒體較為厚重；但也同時提升 $\beta$ -Hydroxypropionaldehyde、氮氧化物(NOx)及負面氣味成份濃度，同時會提高新酒辛辣度。威士忌發酵的菌相變化示意如下圖：

Microbial profile of a typical distillery fermentation (Wilson, 2012)



## 15. 威士忌蒸餾

蒸餾技術普遍推測是由中國傳至西方，早期於陶製容器進行，分成加熱部件及冷凝部件，以草桿或泥土填補中間縫隙。隨著冶金工藝的進步，可塑性較高的銅，因可製成氣密性較高的蒸餾設備，逐漸被採用。生銅除了性質軟，純化及塑形較生鐵為容易外，還具有良好的導熱性質，且可高度拋光。銅具有高金屬活性，具有催化酯化反應的效果，也可與硫化物反應，形成含硫固形物(主要是硫化銅)析出，達到移除含硫化物並純淨酒質的效果(如二甲基硫、硫化氫及二氧化硫)，銅鍋蒸餾亦可減低致癌物胺基甲酸乙酯(Ethyl carbamate)濃度。另一方面，高金屬活性等同於生物毒性，含銅廢液的處理需格外謹慎，且處理費用昂貴，一般以離子交換法或加酸電解析出法處理廢液。精餾廢液(spent lees)含銅量較高，初餾廢液(pot ale)含銅量稍低。在蘇格蘭，經處理後的低濃度銅廢液，可合法排入濕地，因此酒廠會於鄰近地區設立濕地(wetland project)，除了生態保育外，同時處理廢水，許多蘇格蘭威士忌蒸餾廠參與此濕地計畫，如Glengoyne及Glenfiddish蒸餾廠。在單式蒸餾操作中，於天鵝頸(swan neck)上方轉彎處前的銅化合物，最終排出蒸餾釜，而酒氣彎入林恩臂(lyne arm)或冷凝器後的銅化合物，進入餾出液(新酒)，新酒中之銅離子被推測仍具有催化效果，並於後續熟成階段加速酯類的生成，新酒中的銅離子濃度與冷凝器的形式有關。根據統計，以管殼式冷凝器(shell tube condenser)生產的餾出液，因有較大的熱交換面積，比蛇管式冷凝器(worm tube condenser)含有較高的銅離子濃度，如圖：



蒸餾過程中，除了將不同成份分離，尚牽涉許多化學反應，尤其是因高溫所加速的反應，以及藉由銅催化或移除之反應，如梅納反應產物、酯類、縮醛類、由香豆酸和阿魏酸衍生出之酚類及辛辣物質丙烯醛(acrolein)等的生成，以及二甲基硫、硫化氫及二氧化硫等硫化物的移除。在單式蒸餾工藝裡，上升的酒氣會於進入冷凝器前，因蒸餾釜的冷壁效應，冷凝後回到液相，提升了與銅的接觸機率，提升銅催化反應產物。根據Arrhenius定律，在高溫時的反應速率普遍高於低溫時的反應速率，在蒸餾釜上部容積中所進行的氣-氣反應，以及蒸餾釜上部之銅表面的固-液反應，皆因高酒氣溫度而提升。即使是在液面下的固-液反應及液-液反應也受待餾液溫度影響。反應產物生成量，為反應速率與反應時間的乘積，因此蒸餾時間越長，酒氣滯留時間越長；冷凝量越高，反應機率越高，反應程度越高，其中酒氣冷凝量與回流比有關。

### 回流比

在蒸餾釜裡，單位時間液面上酒氣凝結回到待餾液，與單位時間待餾液的蒸發總量之比值，稱之為回流比。回流比為影響新酒品質的重要因素之一，回流比越高，單位酒液於蒸餾釜滯留時間越長，與銅接觸的機率越高，風味改變越明顯。由於酒的成份組成極為複雜，除了水與乙醇外，尚有許多香氣物質，因此仍無準確模組計算回流比。一般為了簡化計算，將待餾液視為由水與乙醇組成的雙成份溶液，其中，水的莫耳汽化潛熱與乙醇相似，可再度簡化並將不同酒精濃度的酒精水溶液之汽化潛熱視為定值。因此，回流比可由於待餾液上方到蒸餾釜彎頭向下處間的單位時間熱損失(酒氣凝結熱)，除以蒸發待餾液所需單位時間之熱能供給(待餾液汽化熱)來估算。在回流比的計

算中，單位時間的熱損失需計算傳導、對流以及輻射熱傳等三個熱傳機制。與環境溫度、蒸餾釜表面積、形狀、環境氣場、酒液酒精度、酒液液位、蒸餾釜壁厚度、蒸餾釜表面粗糙度、顏色甚至是蒸餾房建材有關。蒸餾時的熱量供給可分為待餾液加熱以及酒液蒸發兩個階段，與酒液溫度、加熱管表面積、蒸汽壓力、蒸汽流量、酒液液面下的熱損失量與結垢程度有關，其中影響加熱效率的結垢因子，與麥汁固形物含量、酵母投料量、酵母絮凝性、發酵時間、酒液預熱與否、釀造用水硬度及蒸餾釜清洗頻率。蒸餾生產效率決定酒液及酒氣在蒸餾釜裡的滯留時間，其中與蒸餾釜操作容量、酒醪發酵時間、消泡劑使用與否操作員控制手法、甚至是蒸餾排程等。諸多參數皆會影響到新酒品質，大致可以下列公式估算：

$$\text{回流比} = \text{蒸餾釜上部熱損失量} / (\text{熱供給量} - \text{蒸餾釜下部熱損失量})$$

$$\text{熱損失量} = \text{傳導熱流通量} + \text{對流熱流通量} + \text{輻射熱流通量}$$

$$\text{傳導熱流通量} = \text{傳導熱傳係數} \times (\text{外壁溫度} - \text{內壁溫度}) / \text{壁厚}$$

$$\text{輻射熱流通量} = \text{輻射熱傳係數} \times \text{幾何觀察因子} \times \text{表面粗糙度 } \varepsilon \times \text{表面積} \times (\text{室溫}^4 - \text{釜溫}^4)$$

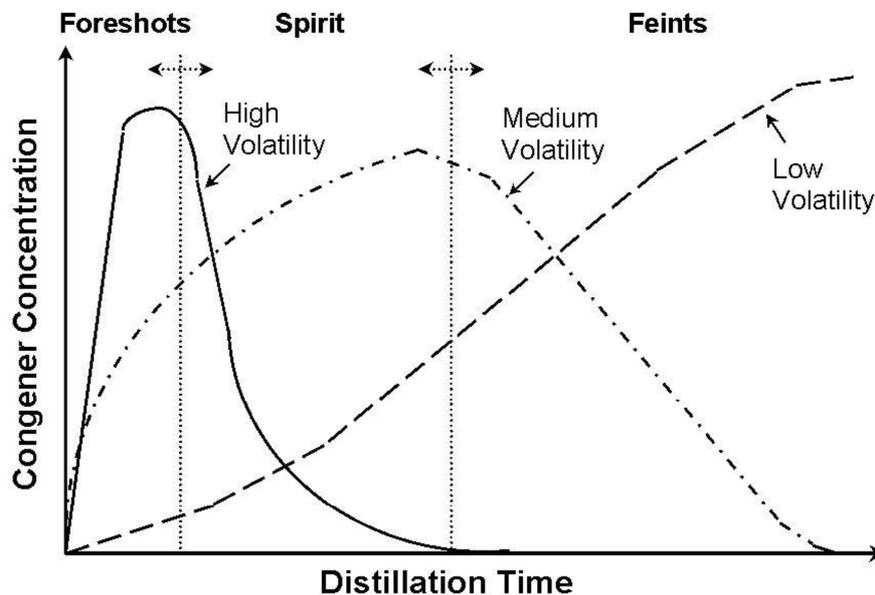
$$\text{對流熱流通量} = \text{對流熱傳係數} \times (\text{室溫} - \text{釜溫})$$

對流熱傳係數與可分為由強制對流或由自然對流所主導。強制對流與氣流場、流體邊界層厚度、流體黏度、介質熱擴散係數及流體導熱度有關，靜止氣流場由自然對流主導，與流體密度、重力、溫度差有關。此外，在蒸餾過程中，回流比並非定值，當待餾液酒精度下降，液相沸點的提升時，進而提高酒氣溫度，提升蒸餾釜與環境的溫度差，回流比提升。液位高度的降低，則提升熱散失表面積，導致熱量的散失擴大，回流比相對提升，蒸餾出酒量隨之降低。由於影響因素極多，因此各個蒸餾廠的回流比不同，既使碰巧有相同的回流比，也會因蒸餾釜內上部體積與銅反應表面積的不同，導致有不同的反應效果。以相同蒸餾釜以及相同操作人員於不同環境下蒸餾亦會得到不同效果，在溫帶地區蒸餾的蒸餾廠因環境溫度較低，以釜溫85度C為例，環境溫度10度會比環境溫度30度高出36%的對流熱損失及25%的輻射熱損失，因此回流比較高。同理，夜間蒸餾的回流比也比日間高；在氣流擾動強的地方蒸餾，強制對流主導熱量損失，因此，吹一陣風也能提升回流比！蒸餾釜在蒸餾房裡的設置地點，影響輻射熱流通量的幾何觀察因子，亦會改變由輻射所造成的熱損失，即使是髒兮兮的蒸餾釜 ( $\varepsilon = 0.75$ ) 也會比表面亮晶晶的蒸餾釜 ( $\varepsilon = 0.03$ ) 高出25倍的輻射熱損失。雖然銅反應、回流比以及蒸餾時間大幅影響蒸餾過程中所產生的氣味成份濃度，越高程度的反應並非完全有利於酒質，過高濃度的氣味濃度可能導致不悅(如溶劑味及藥水味)；而高回流比意味著低能源效率，且較長蒸餾時間意味著較低蒸餾效率以及較高的人工、設備及能源成本。

## 分餾

蒸餾係以液相中不同成份之揮發度不同，於密閉容器中先後進入氣相，藉此分離各成份，以8%abv酒醪於單式蒸餾釜蒸餾為例，首先餾出之酒氣可由乙醇-水氣液平衡圖中查得其氣相酒精度約為50%abv。因蒸餾時，乙醇從液相移出的速率大於水的移出速率，導致酒液中乙醇濃度隨蒸餾而降低。在此案例中，約收集待餾液體積三分之一的凝結酒液，即可收集待餾液中大約99%之乙醇。在傳統蘇格蘭的兩次蒸餾製程中，第一次的蒸餾之餾出液全數收集，稱之為初餾液(low wine)，同時於初餾釜裡留下固形物含量較高的初餾廢液(pot ale)。第二次蒸餾的餾出液分段收集，精餾釜裡留下精餾廢液(spent lees)。

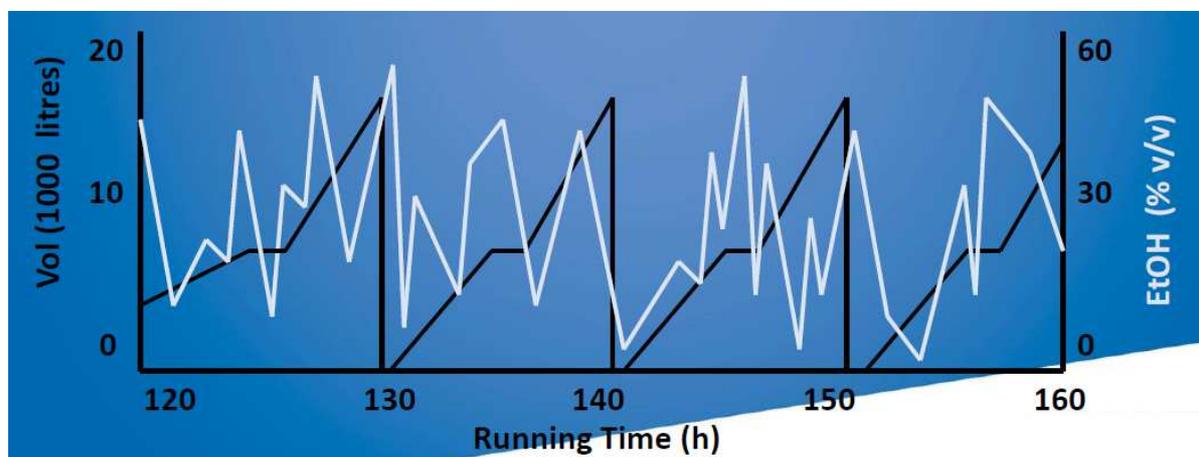
在初餾操作中，由於酒醪中的固形物含量較高，含有蛋白質、不可發酵糖及酵母，雖是梅納反應的前驅物，但容易造成熱交換表面焦化。若採用絮凝力較高的酵母菌株發酵，在初餾造成的結垢現象會更為明顯。焦化(結垢)除了降低熱傳導效率外，於加熱表面焦化的物質可能會生成負面的氣味，通常在酒醪溫度過低且加熱表面溫度過高時，焦化現象特別顯著。除了降低升溫初期的能源供給外(降低能源輸入量)，亦可設置酒醪預熱槽，用高溫初餾廢液(pot ale)預熱酒醪，提升酒醪溫度。除了可回收能源外，亦可減低蒸餾初期酒醪加熱時間，縮短總體蒸餾所需時間，同時預熱後的酒醪可減低焦化現象，許多蘇格蘭蒸餾廠，已增設進料液預熱槽。



初餾液(low wine)隨後於精餾釜行第二次蒸餾，因為酒不是簡單雙組成成份，尚有許多高級醇及氣味成份，精餾係以依不同氣味成份與乙醇的相對揮發度不同，將各成份與乙醇及水先後分離，蒸餾廠將餾出液切成(cut)酒頭(foreshot)、酒心(spirit)及酒尾(feints)如上圖。精餾初期，酒頭收集時間約15~30分鐘，酒精度通常可由85~76%abv

降至74%abv，亦有收集到70%abv的案例，酒頭的收集通常不超過40分鐘。酒心轉酒尾通常為62~64%abv，但也有57%abv轉酒尾的案例。在蘇格蘭，無論是初餾或是精餾，餾出液會持續收集直到酒精濃度降至1%abv，此時的蒸餾廢液酒精濃度約為0.1%abv，再行蒸餾徒增能源成本。若提早停止蒸餾，則會造成酒液損失，如：廢液濃度若為0.2%abv，會多損失1.2%產酒率。初餾廢液(pot ale)及精餾廢液(spent lees)溫度將近100度C，能源回收效益高，可用來加熱進料液，約可減少用來加熱進料液至沸點的能源70%，且縮短蒸餾時程。回收初餾廢液(pot ale)需注意熱交換器堵塞問題以及洩漏問題，可選用套管式熱交換器。精餾廢液(spent lees)可採用板式熱交換器。

切酒後的酒心儲於酒心儲槽，酒頭及酒尾與初餾液(low wine)併入初餾液暫存桶，成為下一批次精餾的進料。其中，精餾器、初餾器、初餾液桶的容量搭配，以及蒸餾的排程，會影響到精餾器進料液的穩定性。若初餾液儲存桶的容量太小，會導致進料液酒精組成不斷改變(如下圖)，並造成各批次的酒心品質穩定度不佳。在長時間的蒸餾操作，不溶於初餾液之成份(如親油性物質)會析出且懸浮於液面，若不小心將初餾液桶所有初餾液泵入精餾釜，除了會提升新酒混濁的風險外，可能會導致酒品辛辣難以入口，一般蘇格蘭蒸餾廠會於每年歲修時清洗初餾液暫存桶，並在操作過程中避免初餾液暫存桶淨空。在較高度自動化的蒸餾廠，常設有較大容量的初餾液暫存桶或多組數的蒸餾釜連續操作，除了可穩定操作精餾外，亦可穩定酒質。



酒氣的冷凝通常採用兩種型態的冷凝器，一種為傳統的蛇管式冷凝器(worm tube condenser)，另一種殼管式冷凝器(shell tube condenser)。蛇管式冷凝器的冷凝效率較低，熱交換面積較小，餾出酒液含銅量較低，被認為可收得較厚重的酒體。由於損壞率高且修理不易，故逐漸被殼管式冷凝器取代。殼管式冷凝器效率高，熱交換面積大，可提升銅反應程度，被認為可生成較輕的酒體，但餾出液含銅量較高。若少數熱交換管發生洩漏，僅需暫時塞住洩漏管，即可繼續生產直到歲修再更換，無需停機。

許多蘇格蘭蒸餾廠會在冷凝器下游，增設一組餾出液冷卻器(cooler)，冷卻器可在夏季冷凝器用的冷卻水溫度較高時，於冷卻器通以冰水控制餾出液酒溫。此外，殼管式冷凝器可控制冷凝器之冷卻水進水流量，可提升冷卻水出口溫度，餾出液再由冷卻器輔助降溫。此系統的冷卻水回水溫度可高達80度C，可用來加熱蒸餾進料液或是糖化用水。餾出酒液溫度不可超過30度C，否則會造成酒精大量損失，一般在蘇格蘭蒸餾廠會將酒溫控制在15~20度C。

## 16. 威士忌熟成

威士忌古名為“Eau de vie”或“Aquavita”，意為“water of life”（生命之水）。但由於生命之水辛辣且難以入口，先人常使用當地藥草或是水果加以調味後飲用，因烈酒常被視為高價產品，大多儲存於陶甕，且在短期內用罄。到了18世紀的工業革命，以及19世紀連續式蒸餾機的商用化，當時視為最高品質的“純淨”威士忌產量大幅提升，威士忌開始儲存於木桶，但當時主要是用於運輸或是待售，並未限定木桶來源。隨著經驗的累積，先人發現用橡木做成的木桶會有較低的酒精損耗率，才逐漸改為使用橡木製桶。隨著海權時代的來臨，大量的白蘭地、紅酒、雪莉酒經海洋貿易進口至英國，市場上充斥的廢棄木桶，蘇格蘭威士忌業者開始低價收購或竊取橡木桶，做為下一批運至市場銷售的威士忌容器。但當時，還沒有威士忌熟成的觀念，文獻指出，18及19世紀的威士忌是不經熟成直接飲用的飲料，或供應至英格蘭琴酒蒸餾廠為原料酒。如同連續式蒸餾機大量釋出純淨的威士忌，市場上的消費著隨後喝膩了這種隨手可得的平價產品，敏銳的酒商發現，消費者們偏好起較長時間桶陳的“不純淨”威士忌，最後在各方的角力下，促使了威士忌需要熟成於橡木桶兩年的法案。到了20世紀，蘇格蘭蒸餾業者以提升品質為由，實為增加新競爭者的障礙以維護現有蒸餾業者的利益，現今蘇格蘭威士忌必需要熟成於橡木桶三年以上的法案因此而生。

並非所有橡木桶所賦予的熟成效果都被當時所有的消費者喜愛。如紅酒桶可賦與威士忌優異的果香，但也同時賦予酒紅色的外觀，相較於其他橡木桶熟成所產生琥珀色澤，部分消費者不偏好酒紅色的威士忌，因此逐漸被市場淘汰。然而20世紀末的橡木桶短缺情況惡化，也讓這類的紅酒桶有復甦的趨勢。另外，在19世紀白蘭地的銷量屬於烈酒業裡的霸主，因此也釋出許多白蘭地桶供蘇格蘭威士忌業者利用，無奈在歐洲葡萄根芽蟲菌肆虐後，崛起的蘇格蘭威士忌以及波本威士忌取代了白蘭地在烈酒業中的角色，而廢白蘭地桶的短缺則由美國波本威士忌桶取代。至今，蘇格蘭威士忌工業裡，大多數的威士忌主要熟成於美國波本桶以及西班牙雪莉桶兩種方式。

### 美國波本桶

與蘇格蘭威士忌屬於亦敵亦友的美國波本威士忌，經貿易連桶運送到英國與歐洲等地銷售，並在當地釋出的大量的空橡木桶，剛好讓蘇格蘭蒸餾業者撿了個大便宜。且在美國當地各方業者的角力下，造就出美國波本威士忌需於新橡木桶中熟成的法令，釋出的廢棄橡木桶，則順理成章的銷至蘇格蘭，也成為當今蘇格蘭蒸餾業者橡木桶的主要來源。最初，橡木桶是不經燒烤就直接製桶，由於木料戶外自然熟化(seasoning)條件下，橡木桶骯髒且雜味重，因此以燒烤的方式清潔橡木桶，以提升賣相。意外的是，烘烤/燒烤的過程中，木材中的木質素以及半纖維素裂解成受消費者喜愛風味物質(如糖類、香草醛及丁香醛)，而燒烤後的橡木定型性較佳，增加木材的可塑性以及成品橡木桶的使用年限，因此烘烤/燒烤成為橡木桶生產的標準製程。過去的橡木經採伐後，暴露在自然環境中經風吹日曬，以降低木頭的含水率，旨在降低木桶變形率，但需耗時12~18個月。隨後美國波本橡木桶製桶商，採用烘烤的方式來加速水分的脫除，但卻意外的導致酒液熟成的效果下降。現在美國橡木桶則在控溫的環境降低部分含水率後，再以烘烤的方式進行二階段的水分移除。

在美國生產的橡木桶使用源自於美國的白橡木，美國白橡木有多細胞木質髓線(Mudullary ray)結構，相較於其他地區的橡木，美國橡木桶的木質較為緊密且強度較高，並具有較高的可撓性。雖然美國白橡木的單寧含量較歐洲橡木少，但橡木內酯(oak lactone)的含量高，於美國橡木桶第一次裝填的酒液(first fill)較歐洲橡木桶在萃取風味物質的表現較為快速。不同地區的橡木品種的內酯(lactone)異構物分佈不同，其中，cis-lactone比trans-lactone具有較低的氣味閾值，而美國白橡木的cis-lactone/trans-lactone比例較高，因此能給予第一次熟成的酒液較豐富的木桶味(如波本威士忌)。Lactone的異構物分佈有地緣關係，如美洲白橡木的cis/trans比例較高，日本橡木cis/trans比例較低，而歐洲橡木則界於兩者之間。因此可藉由第一次熟成的酒液裡，lactone異構物比例來推測橡木桶的來源。有學者分析於20世紀初裝瓶的紅酒以及雪莉酒，發現當時就採用了不少美國橡木桶做為運輸或熟成的容器。如今90%的蘇格蘭威士忌是在美國橡木桶中熟成，且大多數是在回填桶(re-filled cask)中熟成。

### 西班牙雪莉桶

最傳統的雪莉橡木桶是採用歐洲橡木製作，相較於歐洲橡木桶費時24~36個月於單一地點熟成，西班牙橡木桶的橡木片乾燥處理為兩階段，一為在伐木區的熟化(9個月)，含水率可降至20%；二為運送至製桶區內熟化，再將含水率降至14~16%，在製桶區的熟化時間依據氣候而定，較冷時需熟化9個月，較暖時為6個月。西班牙的雪莉酒並非全數

採用歐洲橡木桶中熟成，一般來說，Fino型與Amontillado型的雪莉酒是在美國橡木桶中熟成，而Oloroso型的雪莉酒在歐洲橡木桶中熟成。有趣的是，在蘇格蘭的威士忌市場中，以Oloroso型的雪莉桶熟成的蘇格蘭威士忌較受消費者歡迎，而消費者喜好的風味來源是由Oloroso雪莉酒或是由歐洲橡木桶所貢獻，至今仍未有明確答案。西班牙的製桶業者也會將美國橡木片與歐洲橡木片混合使用，組成西班牙雪莉桶以因應出口的需求，採購西班牙雪莉桶時應可明確指出所需要的木頭來源，但該伎倆目前仍無法以儀器鑑定。

雪莉酒於16世紀傳入英國，但直到18世紀才在英國廣泛流行，大量釋出的雪莉酒桶就如美國波本桶一樣，被蘇格蘭蒸餾業者用來盛裝威士忌。在雪莉酒桶中熟成的威士忌，在20世紀大受消費者歡迎。但隨著雪莉酒風潮的退燒，疲弱的雪莉酒市場導致雪莉酒桶的供貨短缺情況日益嚴重，因此衍生出其他技巧，如擬雪莉桶(後敘)。

### **重組桶**

由於從海外以連桶帶酒的方式運送並不符合經濟效益，現代的酒液進口都是以惰性容器運送(如塑膠袋或不鏽鋼容器)，但蘇格蘭蒸餾業者對橡木桶的需求仍未減少，而運送空橡木桶又不經濟，因此發展出將橡木桶拆解成橡木片後再運送的行業。拆解後的橡木片運抵蘇格蘭後，於製桶廠將其重組回橡木桶(如Speyside Cooperage Company)。由於蘇格蘭蒸餾業者過去除了使用美國波本工業的橡木桶，亦使用歐洲運來的紅酒桶或白蘭地桶，故傳統的倉儲架設計除了有190公升的美規儲架外，也有225公升的儲架設計供歐規橡木桶存放，且兩者橡木桶的鐵架寬度相似，因此與其將木片重組回190公升的橡木桶，更換較長的端板木片將橡木片重組至225公升以增大儲存量也不罕見。當然，橡木桶的規格不僅如此，只是在蘇格蘭的主要重組桶規格為190公升，以及俗稱豬頭桶(Hogshead)的225公升規格。由於拆解後的桶側板來源不一，可能來自不同酒廠，因此重組後的橡木桶中可能含有不同年齡的橡木片，也可能接觸過不同的酒液，因此此類橡木桶的熟成效果較無法預測。一般來說可依產區分類，如美洲橡木重組桶或歐洲橡木重組桶，但也有混合使用的情形。重組桶的生產方式與再生桶類似。

### **擬雪莉桶**

係以一種稱為paxarette的西班牙棕色甜酒，對舊橡木桶或重組橡木桶做桶內表面處理的手法。Paxarette酒是一種主要由Pedro Ximenez的葡萄所釀製的酒，並摻入其他酒類(如Fino、Oloroso或Amontillado型的雪莉酒)為調香劑，以及添加名為arrope的糖漿(由Pedro Ximenez葡萄汁濃縮至2~5倍糖度的濃縮液)，各個酒廠的Paxarette配方皆不相同，主要用於餐後甜酒，於18世紀時在英格蘭頗為盛行。在過去，蘇格蘭威士忌

工業曾在製桶時，為了模擬雪莉桶風味的養成，會加500毫升的Paxarette到重組桶(Hogshead)或是1公升到500L的舊雪莉橡木桶(butt)中，再以高壓蒸汽將酒液逼入橡木桶內部表層。教授指出，於此類型的桶子熟成的威士忌，會有非常豐富的雪莉酒風味，擬真度極高，但該效果僅限於第一次裝填的桶子(first fill)，且各個擬雪莉桶的熟成效果差異大，二次裝填威士忌時，熟成表現大幅減低且幾乎等同於在老舊橡木桶中熟成。此種擬雪莉桶的做法，最後被視為是作弊的方式，因此在蘇格蘭被禁止。但講師也意有所指的提到，“蘇格蘭地區以外所生產的橡木桶不受這條規定限制”，留下了不少想像空間。

### **再生桶**

此類型的桶子大多在二十世紀後期開始盛行，由於美洲橡木桶的製程改變，導致輸入蘇格蘭的橡木桶熟成效果不如預期，再加上橡木桶荒的驅使下，將老舊的橡木桶的再生工藝，成為折衷的解決方案。使用過多年的橡木桶，其萃出速率逐年降低，吸附能力也因飽合而衰退，可將橡木桶內的木片表層拋除2~5mm，暴露出較深層的木材以利可萃出物的溶出(提高固-液界面的濃度梯度)，再經過燒烤(toasting/charring)促使半纖維素及木質素裂解，產生部分糖類及酚類等的可萃出物質，同時燒烤後所產生的焦化層，提供嶄新的吸附表面。經再生的橡木桶無法獲得與新橡木桶相同的熟成效果，原因在於部分不經熱裂解所產生的可萃出物質無法再生，如部分糖類、橡木內酯(oak lactone)、脂肪酸、著色單寧、澀味丹寧酸、萜類或等具熟成效果物質，以及吸附在橡木桶表層的舊酒液風味也無法複製。於再生桶熟成的酒液可達於新橡木桶熟成約80%相似度，越老舊的橡木桶的再生效果越差(非熱裂解產物已耗竭)。此外，由於燒烤所在橡木表面造成的焦化層較新，故再生桶的吸附熟成效果可能比原橡木桶(二手的波本桶)強，且新生成的裂解產物之濃度可能較高(依燒烤強度而定)，詳細作業流程請參照**整桶場觀摩**一節。

## **17. 橡木桶熟成機制**

酒液儲於橡木桶中，除了可移去新酒味，獲得木桶所賦予的香氣外，亦可以使酒液柔和。依熟成機制可分為**移除(subtractive)**、**加成(additive)**以及**交互(interactive)**反應三種。

### **移除反應**

移除反應可再細分為蒸散、吸收及降解。

**蒸散(Evaporation)**：橡木桶內物質(酒液)與橡木桶外物質(大氣組成)進行質量交換，以高揮發性物質最為顯著，如乙醇、水、醛類及硫化物。質量傳送速率與該物質之蒸

汽壓、溫度以及大氣組成有關。大氣中的水、乙醇及其他香氣成份之分壓大都遠低於橡木桶內之分壓，所有揮發物質都會受濃度梯度的驅動往橡木桶外蒸散。因此橡木桶中酒液會隨熟成時間的增加而減少，部分高揮發性物質亦為如此，如二甲基硫(DMS)會於熟成一年內散失殆盡、二甲基二硫化物(DMDS)會在熟成三到五年後濃度減半。大氣組成影響酒液損失較為顯著的是桶中酒精度的變化。在較乾燥環境儲存下，因大氣組成中含水量較低，與橡木桶內氣相組成具有較高濃度梯度，導致較高的水蒸散速率，反之，在潮濕環境下，會有較低的水蒸散速率。相對於較恆定的乙醇蒸散速率，會造成在乾燥環境熟成的威士忌具有較高的酒精度殘留，而在潮濕環境熟成的威士忌酒精度較低。通風良好的倉庫因換氣量較高，酒液損失也較高，因此蘇格蘭的橡木桶倉庫僅設有極少量的通風口，以減少酒液的損失(請見*橡木桶倉庫觀摩*一節)。

吸附(Adsorption)：酒液中的乙醇、水及氣味成份與木桶表面可進行質量平衡，尤其是現代的橡木桶都經過烘烤(toasting)或是燒烤(charring)，在表面形成的焦化層具有非常大的比表面積，可提升橡木桶表面的質量交換容量。新酒中含有較高濃度新酒氣味的高級醇或二甲基硫的氣味物質，在嶄新的橡木桶或是未盛裝具有這些成份的二手橡木桶中，木桶表面可較有效率的將此類香氣物質吸附，再經擴散作用或隨乙醇水溶液的毛細作用將香氣物質帶入木材深層。其中，木桶表面焦化層的吸附或脫附速率較快，由木材內部擴散至木桶外的質傳阻力較高，速率較慢。因此焦化程度高的木桶，可在熟成初期較有效率的移除新酒的氣味，直到焦化層的吸附座達飽和或平衡，吸附後的物質可能會緩慢的擴散至內層，或留在焦化層。若橡木桶過去盛裝過威士忌新酒(re-filled cask)，因焦化層已吸附新酒氣味分子，新酒氣味的移除速率改由相對較慢的擴散速率主導，導致使用二次桶的威士忌會留有較顯著的新酒氣味，或需更長的熟成時間才能達到原橡木桶的熟成效果，如麥芽味。

化學降解(Chemical degradation)：部分新酒中的成份會在熟成期間行降解反應，並喪失原有風味，其中最重要的範例為具有刺激辛辣味的丙烯醛(acrolein)，在長時間的熟成中，丙烯醛會與乙醇反應，形成風味閥值較高的1,1,3-triethoxypropane，因此新酒的辛辣感會隨熟成時間的增加而降低。此例反應推測與橡木桶較無關係，與熟成時間、熟成溫度相關。

### **加成反應**

加成反應是指酒液於熟成時取得額外風味物質的行為。橡木桶內可溶出之物質種類及含量與橡木桶的種類、熱裂解狀況、盛裝過的酒液、橡木桶年齡有關。此類風味物質溶出的行為可視為吸附作用的逆反應，由橡木桶內部表面(或焦化層)溶出至酒液，表

層可溶性物質濃度減低後，再由橡木內層經擴散送至表面。

橡木桶的種類影響了可萃出物的種類及含量，木材的熟化方式(seasoning)影響溶出量甚鉅。橡木可萃出物可分為以下幾類：單寧類、精油類、糖類及橡木內酯(lactone)，此部分可參照美國波本桶一節。另外，由於橡木桶的製作過程中會牽涉到烘烤/燒烤(toasting/charring)，此熱製程會引發橡木片裡的木質素及半纖維素裂解，生成可溶性物質，如松柏醇(coniferyl alcohol)裂解成松柏醛(Coniferaldehyde)、香草醛(vanillin)或香草酸(vanillic acid)，芥子醇(sinapyl alcohol)裂解成芥子醛(sinapaldehyde)、丁香醛(syringaldehyde)或丁香酸(syringic acid)。其中，香草醛、丁香醛及香草酸可由未經烘烤的橡木桶中，由乙醇水溶液溶出，但溶出速率較低，而經烘烤後的橡木桶除了可大幅提升上述物質溶出速率外，亦可獲得較高含量的松柏醛以及芥子醛。烘烤的溫度影響上述可萃出物的濃度，烘烤溫度越高可得較多的可萃出物，但若到加熱至焦化，可萃出物濃度隨焦化程度的提升而驟降。位於橡木桶內部表層因熱裂解所增加的可萃出物，會隨橡木桶的使用而減低，上述物質於老舊橡木桶的溶出速率，約略近似於未經烘烤的橡木桶，推測表層含量已耗竭，溶出速率改由木片深層擴散至木片表層所主導。

橡木桶之可萃出物如糖類及單寧類(溶質)，溶出速率會因酒液(溶劑)之物理性質而定。酒精度較低之新酒具有較高的水濃度，可溶出親水性較高的糖類，如阿拉伯糖、木糖、葡萄糖及果糖於55%abv的新酒溶出量比70%abv的新酒高出近一倍。單寧類則隨酒精度提升而提升，但酒精強度過高會導致橡木細胞封閉，大幅減低溶出量，進而降低酒液色度。新酒之酒精度落於60~70%abv間，可較有效率的提升酒液色度。一般蘇格蘭麥芽威士忌多於63.5%abv入桶，穀物威士忌多以68%abv入桶，但也有許多例外。

### 交互反應

酒液中源自於新酒的成份，以及由橡木桶中所取得的物質，在長時間的儲存下會行交互反應，如縮醛反應、氧化反應、酯化反應等。如乙醇氧化後形成乙醛，乙醛可再與乙醇行縮醛反應產生乙縮醛(acetal)，或繼續氧化成乙酸，乙酸可再與乙醇反應成乙酸乙酯。橡木桶裂解產物如香草醛，可氧化形成香草酸，再與乙醇反應形成香草酸乙酯(ethyl vanillate)。丁香醛氧化成丁香酸後，可再反應形成丁香酸乙酯(ethyl syringate)。交互反應的反應速率緩慢，熟成溫度可提升酯化反應速率，新酒中的銅離子雖被認為在熟成中，仍具有催化的效果，但教授指出目前尚無明確的定論。此外，水與乙醇會藉由氫鍵形成較大的聚集(cluster)，但反應速率極緩，此理論推測可提升酒液黏度，並降低乙醇的刺激感，給予酒液較溫潤(mellowness)的老酒口感。

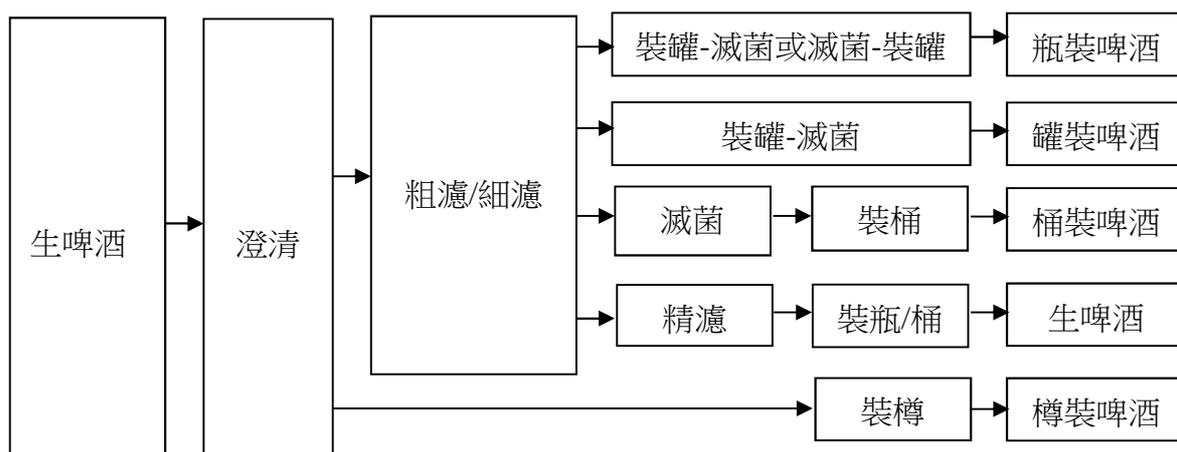
## 過桶

橡木桶的使用歷史會影響酒液風味的表現，熟成酒液可藉木桶取得前一次盛裝酒液的風味（如麥芽新酒、波本威士忌、雪莉酒、白蘭地），以賦予酒類額外的特色。過桶手法始於蒸餾業過於重複使用老舊橡木桶，因橡木桶的內部焦化表層已達飽和，因此對後續新酒進行吸附(absorption)之速率大幅減低，導致高酒齡的熟成酒仍保有新酒的氣味。同時，橡木桶表層之熱裂解產物已耗竭，因此無法有效賦予熟成的風味。為了去化庫存，補救方式為將高酒齡的老酒轉儲至年輕的橡木桶，在橡木桶荒的年代中，除了常見的波本桶及雪莉桶，許多已退流行的橡木桶也陸續被採用，如紅酒桶及白蘭地桶。過桶需注意橡木桶與酒液的質量傳送是雙向的，高酒齡酒的熟成酒風味物質（如酯化反應產物），可能在過桶操作中被橡木桶吸附，並由橡木桶中溶出不想要的氣味物質。

## 18. 包裝前處理

### 過濾

啤酒的包裝型式眾多，主要可分為瓶裝(bottle)、罐裝(can)、桶裝(keg)及樽裝(cask)幾種。除了樽裝啤酒外，大多要求清澈透亮的酒質，並且終止一切微生物活動。包裝前處理流程如下：青啤酒在後發酵階段，懸浮於酒中之固形物沉澱，隨後經轉桶取得稍微澄清的生啤酒，耗費較長的時間。可利用離心澄清法加速固形物的沉澱，但會造成酒液溫度升高，提升風味改變的風險。澄清後的啤酒通常會先後經歷粗濾、細濾，再行包裝/滅菌。過濾處理流程相對於終端產品形式約可分為以下幾種流程：



粗濾可移除大多數的大粒徑懸浮固形物，細濾可達澄清透亮的啤酒(bright beer)。過濾不僅移除現存於酒中的固形物，如酵母與蛋白質-單寧聚合物，也需降低未來可能造成混濁或沉澱物析出的前驅物質(如蛋白質或單寧)。啤酒造成混濁的主因是帶電荷物質於酒中因長時間存放而結合，逐步形成聚合物，進而增加光線於酒中的散射現象，

如蛋白質－單寧聚合物。可由濾材或助濾劑，選擇性的移除帶正電荷物質，或帶負電荷物質，以降低混濁風險。如以PVPP移除帶負電荷的單寧，或添加單寧酸加速帶正電荷蛋白質的聚合，再將其濾除。

過濾設備的選擇如下：

1. 粉劑過濾(powder filtration)：用於板框式過濾機(plate and frame)、柱式過濾機(candle filter)及葉式過濾機(leaf filter)三種類型的過濾機操作。粉劑過濾是藉由酒液穿透濾床過程中，將固形物滯留於濾床上，以達成清澈酒液，通常是用於大批次的酒液過濾。操作時先將助濾劑(如矽藻土、珍珠岩等)分散於少量酒液中，於濾材表面形成底床(pre-coat)，再行過濾。由於固形物會逐漸堵塞濾床，降低濾出速率，故過濾時需不斷補充助濾劑(矽藻土)以保持濾床的穿透度。
2. 板式過濾機(sheet filter)：無需使用過濾助劑，直接利用濾材本身的化學鍵結或依物理性的方式，將固形物滯留於濾材中，操作簡便。濾床堵塞後，可藉由逆洗或以藥劑再活化濾床，提升濾材的再利用率。此法成本相較於粉劑過濾高，但可較靈活的操作小批次的待濾樣品。
3. 交叉過濾器(Crossflow filter)：將酒液高速由水平方向沖刷濾材表面，酒液可經垂直於流動方向穿透過濾材，陷在濾材表面之固形物會被高速水平向流體沖離，此法可隨時保持濾材表面開孔，永不止歇的獲得濾液，且不需更換濾材。缺點為需要非常高的驅動能源(泵)，且酒液會在此製程升溫，產品品質控制不易。
4. 膜過濾(membrane filter)：利用濾材表面特定孔徑，將待濾液中的固形物隔絕於膜表面，如開孔 $0.45\ \mu\text{m}$ 以下的濾材可濾除微生物，也稱為精濾，主要用於酵母及微生物的移除，通常安置於細濾之後。濾除微生物後的啤酒具有不需經熱殺菌也能擁有良好保存期的優點。缺點為濾材成本較高，且過濾效率低。

## 滅菌

發酵酒的滅菌始於法國微生物科學家-路易 巴斯德(Louis Pasteur)為了提升葡萄酒的保存期限所發現的熱滅菌法，熱滅菌可降低酒中之微生物在後續儲存時引發酒液敗壞的風險，如今已泛用於飲料及食品加工業，簡稱為巴式殺菌(Pasteurization)。啤酒的熱滅菌通常可分為兩種形式，一為包裝前滅菌，將酒液泵過熱交換機迅速升溫，至目標滅菌溫度時保持一定的滅菌時間，再迅速由進料酒降溫以回收能源，隨後再與冷水進行熱交換，泛用於瓶裝酒與桶裝酒的充填前製程，罐裝酒亦有使用實例，採用此法需使用無菌包裝材進行後續充填。另一滅菌法為將酒液充填至容器後，經隧道式殺菌機升溫，泛用於罐裝及瓶裝酒的滅菌，可同時對酒液及包裝材滅菌，但能源耗費較高。滅菌的溫度以及停留時間是由欲消滅菌數及菌種而定，各菌種的耐熱條件不同，

可分為D值與Z值。如：啤酒中常見菌-Lactobacillus delbrueckii之D<sub>60</sub>值為0.637min，Z值為7.23度C。欲將Lactobacillus delbrueckii菌數由滅菌前的10CFU降至滅菌後的0.000000001CFU，則滅菌溫度(T)及滅菌時間(t)的關係如下：

$$t \times 10^{(T-60)/7.23} = 0.637 \times [\log(10) - \log(0.000000001)]$$

啤酒在包裝前會先進入蓄壓槽，於低酒溫的條件下分階段打入二氧化碳(carbonization)，迫使二氧化碳溶入酒液。若混入氫氣，成品酒可獲得較綿密的氣泡表現，如健力士啤酒(Guinness)。

### 非滅菌型啤酒

經巴士滅菌後或精濾的啤酒可大幅提升保存期限，未經微生物過濾(精濾)的生啤酒，風味穩定性差，保存期限短，通常裝於桶(keg)供應至流通速度較快的酒吧或餐廳。在英國，售出之桶裝啤酒平均會在一個月內回收回酒廠，且將近50%的啤酒是以桶裝啤酒(keg beer)售出。過去啤酒桶是由鋁製成，但是空桶常被消費者熔成鋁錠賣錢，隨後改成不鏽鋼製桶，並設有止逆閥，雖狀況大幅改善，但如今精釀啤酒業的興起以及鋼價高漲，導致許多桶遭竊取，已有不少酒廠改為塑膠桶(keg)售酒，或裝於塑膠袋的“桶裝啤酒出口。

傳統樽裝啤酒(cask beer)是於木桶中進行後發酵及熟成，如今大多以不鏽鋼桶為主。由於酵母菌未被濾除，且不經巴士殺菌，故含酵母的啤酒可抑制酒液氧化，但產品穩定度差，風味隨儲存時間提升而改變。另一種風味穩定性較高的樽裝啤酒做法是將過濾且滅菌後的啤酒於裝樽前，再額外加入酵母及糖漿進行後發酵，可較穩定的控制產品品質。一般來說樽裝啤酒的二氧化碳含量較低，風味變化大，歸類為極度新鮮的生啤酒。消費者可於樽中以啤酒花調味(back hopping)，於英國有一定的愛好者，可見於精釀啤酒市場。有別於桶裝啤酒，樽裝啤酒桶常設有兩個或以上的開口，一口為位於桶頂的注酒孔，一口為側面的取酒口，以避免抽取沉澱的酵母或啤酒花等物質。傳統上，樽裝啤酒(cask beer)利用重力出酒，桶裝啤酒(keg beer)則利用二氧化碳壓力出酒，如今許多酒吧將酒窖設在吧檯下或是更低樓層，因此大多需靠泵的協助出酒。

## 19. 包裝

一般用於啤酒包裝的並與啤酒直接接觸的包材主要有下：

- 玻璃—被消費者認為有較高的產品印象，且具有絕佳的阻氣性及回收利用率高等優點，但材質重、製程耗能高、易碎、運輸效率低且易受光線的照射造成風味改

變的多項缺點。可分為回收瓶(returnable bottle, RB)及非回收瓶(non-returnable bottle, NRB)。RB為啤酒廠回收空瓶後，經後清洗再度充填使用；而NRB則回廠後敲碎，熔成玻璃膏後重新再製瓶。英國地區的瓶裝啤酒採用NRB，RB市占率僅不到0.5%。德國的啤酒普遍採用回收瓶，

- 金屬—主要以鋁為主，具有輕、耐碰撞、高阻光阻氣性、可回收(recycle)且可於包裝表面上色的多項優點，過去的鐵罐啤酒已較少見。
- 塑膠—PET罐具有低價、輕、可回收、耐碰撞的優點，但較差的阻光阻氣性及大眾的刻板印象，較少見於啤酒包裝，用於包裝蘋果酒(cider)已非常普及。另外具有較高物化性質的PEN罐，具有輕、可再充填、耐碰撞、優異的阻氣性等優點，但其阻光性稍差且價格高，屬較新穎的包裝材，但常被消費者誤認為廉價產品。目前已逐漸導入啤酒市場。

包裝課程牽涉相當廣泛，從玻璃砂到玻璃瓶的製作、鋁板到鋁罐的生產、塑膠粒到塑膠罐的吹模、鋼板到鋼桶(keg)的製作流程等都有提及。除了上述一級包裝材料外，二級包裝材料如標貼的印刷、標貼的種類、膠水、收縮膜、瓶蓋、鋁蓋等，三級材料從紙漿到紙板，再到瓦楞紙的生產及紙盒的裁切、配件、提袋…等，甚至到酒吧的啤酒分配系統、桶/樽裝啤酒酒窖設計、印刷的方式都屬於包裝課程範圍。本課程的作業較具有挑戰性，講師要求學員為一支產品設計包裝，需要開出各項包材所需之技術規範，並設計符合當地法規要求。職藉職務之便，引用本廠產品凍頂白蘭地設計理念，設計茶壺式袖珍青花瓷瓶(包裝盒示意如下)，大受同學及教授好評，並意外獲得該作業最高成績。或許未來本公司外銷至歐洲之新產品，除凍頂白蘭地外，可再嘗試採用青花瓷為包裝。



### 三、術科內容摘錄

Brewing and distilling課程不僅教授酒類釀造的基本原理以近代的產業發展，在術科部分設有一系列實驗，每週邀請啤酒廠或蒸餾廠人員來校演講，可提供學員至工廠實作以及面試機會，輔導學員就業，相較於台灣學校拚升學的風氣，確實大有不同。在產業觀摩部分，參訪商用啤酒廠(Caledonian brewery)、Diageo的整桶廠、橡木桶倉庫與抽裝樽作業工廠、啤酒包裝線(Tennent Brewery)、穀類烈酒蒸餾廠(North British Distillery)及麥芽威士忌蒸餾廠(Glenkinchie Distillery)，可說是一系列的啤酒及威士忌產業鏈。以下內容為訓練內容及參訪摘要。

#### 1.大麥及麥芽實驗

進入實驗室前必需戴上護目鏡及手套，穿上實驗衣及安全鞋，並且聽完安全講座後才可進入實驗室。實驗項目有針對未發芽的大麥做千粒重試驗、發芽力試驗以及水敏性試驗以及預先準備好一、二、三天的發芽大麥進行鬆脆度試驗、冷水抽出物、熱水抽出物-細粉及粗粉、可溶性氮量比較以及發芽均勻度(Homogenous)試驗。全體學員使用同一批次的麥芽，同時考驗每個人的實驗手法。想當然，一群未受訓練的新手學生做出來的結果差異不小，所幸測驗結果勉強能與標準值及合理趨勢有關連。教授指出，農作物產品在取樣分析時，試驗結果變動極大，即使是專業製麥工廠都必須使用較宏觀的角度並以統計的方式才能得產出較可被信賴的結果。在不同發芽時間的實驗中，經統計後的數據顯示，發芽時間提升，抽出物比率提升、粗細粉抽出物差異減少、鬆脆度及均勻度也提升、未發芽麥芽數減低(無法破碎麥芽量)、出芽率提高、可溶性氮提升、抽出溶液色度提高。解釋了這是蛋白質分解酵素、葡聚糖酵素(glucanase)及多種澱粉酵素(amylase)在發芽過程中協力作用結果，並應証學科所教授之內容。整理如下：由糊粉層合成的葡聚糖酵素(glucanase)首先破壞細胞壁，並暴露澱粉粒及蛋白質膠，而澱粉水解酵素( $\alpha$ -amylase)液化澱粉顆粒，造成結構強度減低，因此鬆脆度提升。蛋白質分解酵素(proteinase and peptidase)作用於蛋白質上除了釋放出小分子的蛋白質，使可溶性氮提升外，同時也是放在胚乳細胞內的澱粉糖化酵素( $\beta$ -amylase)，加速澱粉水解，麥芽抽出物量提升。短鏈蛋白質及糖類在胾肽酵素及葡萄糖酵素作用下，進一步分解成胺基酸及葡萄糖，經擴散至大麥胚芽供應發芽所需之養分，因此出芽率及均勻度的提升。由於酵素在麥芽內是以擴散的方式進行，尚未經修飾的胚乳細胞會阻礙麥芽抽出物的溶出，因此麥芽經破碎後，較大的麥芽碎粒可釋出的抽出物量會較低，造成粗—細粉抽出物的差異大。發芽時間的延長可對胚乳中心的細胞進行較高程度的修飾，以降低粗—細粉抽出物量的差異。該值在過去可視為麥芽修飾程度的重要參考數據之一。而現今蘇格蘭威士忌廠在採購麥芽時，主要著重在計算後的理論

PSY值，以及麥芽含水率。蒸餾廠大多採信麥芽廠或第三方檢驗公司的實驗數據，鮮少設有自己的麥芽實驗室，但採購麥芽時仍要求保留上述檢驗結果，表面上是用來評估大麥品質以及製麥水準，實際上是作為議價的依據。在穀物蒸餾廠及啤酒廠的操作中，上述檢驗數據相對重要，為調整製程參數的重要依據，故普遍設有麥芽檢驗實驗室。

## 2. 微生物實驗

本實驗係以針對啤酒釀造製程中，雜菌入侵與細菌的分類及量測，例如：對生產容器、作業平台、啤酒成品、空氣、操作人員皮膚等做採樣微生物數量統計，有採用傳統法的菌數檢驗，也有使用快速檢驗的方法(如ATP偵測機)。實驗內容包含有探討不同培養基，或依含不同糖源營養液來觀察不同微生物的糖分攝取力，可用來判定酵母漿裡的雜菌。革蘭染色劑的使用以及菌種形態的觀察，可用來分辨啤酒中常見微生物的種類。本實驗過程目的是在使學員了解啤酒廠在微生物入侵時的應變，雖以上實驗是在啤酒廠操作中的例行公事，但不少學員都是第一次接觸微生物相關實驗，狀況百出，而具微生物背景的學員則可駕輕就熟的在時限內完成所有任務。

## 3. 調和酒醪蒸餾實驗與琴酒配方設計

為了瞭解不同物質在蒸餾時於餾出液的分佈狀況，技術師要求學員將乙酸乙酯、正丙醇及三甲基丁醇，這三種威士忌新酒的常見成份調入乙醇-水溶液裡，並於設有分餾管柱的批次蒸餾機進行蒸餾。收集不同時段的餾出物，最後以氣相層析儀分析各時段餾出物的標的物濃度。要求學員收集文獻，以比較實驗結果。由於使用的是分餾管柱蒸餾機，而不是批次蒸餾機，在結果的判定有不少挑戰。

由於威士忌熟成時間較長，除了大學生以外，研讀碩士班的學員無法參予威士忌的專案。在產業界裡，因蘇格蘭威士忌依法需在橡木桶內熟成三年，故大多數新建的威士忌蒸餾廠在建廠初期，會推出無需熟成的產品，來平衡收入，琴酒就是其中之一，尤其琴酒是英國非常普遍的調合用酒。本段實驗先由學員品評已知配方的琴酒樣品，並提供該琴酒樣品配方，再請學員聞蒸餾廠內所提供的藥材。要求學員替換其中的兩項藥材種類及劑量，依技師所提供的製程參數經浸漬及蒸餾後，品評成品酒，再與已知樣品比較差異。目的為使學員了解配方變動後對琴酒風味表現的影響。在琴酒的配方設計裡，更改少數樣品或劑量就會對產品風味造成顯著的差異，往往容易改變風味的平衡度表現以及訴求的產品特色，尤其是含有高精油濃度的樣品(如柑橘皮、香菜種子)及氣味雖不顯著但很重要的佐料(如杏仁、鳶尾花)。當然，琴酒的主角杜松子，來自不同產區亦對風味亦造成顯著的影響。

#### 4.精釀啤酒廠(Steward brewery)實習

位於愛丁堡市區邊陲地帶工業區裡的Steward啤酒廠，於2004年由工作室發跡，創廠初期僅五個人，以創新及獨特的啤酒風味，及具特色的個性包裝，在競爭激烈的精釀啤酒市場打出一片市場，已培養出一批追隨者支持該廠產品。如今該廠已成長至數十名員工，擴充廠房後，擁有數座100公石以上的發酵槽，但產品包裝仍是全手工線，廠外種有啤酒花，每週末開放給一般遊客參訪導覽，可堪稱成功的精釀啤酒業者。如今，初始建廠設備已改建為啤酒廚房(kitchen brewery)，供場地及設備給釀製啤酒有興趣的消費者租用，消費者可釀造自製配方的啤酒(可挑選麥芽、穀物及啤酒花配方)，非常有賣點，也常有消費者租用設備，本課程的啤酒釀造實習即是在此啤酒廠進行。由於創辦人曾就讀於Heriot Watt大學，故有受邀為講師，分享精釀啤酒的成長及創業的經驗。精釀啤酒的發展已有十餘年的歷史，至今有數千家啤酒廠正在營運，如今這股風潮已吹向亞洲地區，對台灣市場是一種威脅，也是一種契機。經統計顯示，設有自釀啤酒廠的餐飲業者(餐廳或酒吧)較未設有自釀啤酒的餐飲業者，在創業的成功比率高出五倍，許多英國餐飲業者提供自釀啤酒已蔚為風潮。



Steward 啤酒廠外觀



磨麥



傳統糖化槽



小型發酵槽



裝瓶



封蓋與貼標

#### 5.商規啤酒釀造、高比重麥汁釀造與啤酒配方設計比賽

商規啤酒釀造為本課程的第一次啤酒釀造，配方及製程參數皆依照技師所提供的資料進行，由麥芽及穀物秤重開始，依序進行磨麥、麥芽及穀物糖化、管線連接、勞特槽過濾、設備清洗、煮沸、冷卻、發酵、記錄發酵參數、二次發酵、安定及包裝等流程。最後在盲飲的測試條件下，品評各組釀造的啤酒以及標準啤酒。觀察是否可辨別其差異，若無顯著差異者為佳釀，最後以作業的方式評測學員的瞭解程度。

在高比重釀造實驗裡，學員必須在限定的設備容量中，生產出更多的啤酒，以模擬啤酒廠在銷量提升時可能面對的挑戰。不同於第一次的啤酒釀造時使用勞特槽分離麥汁，本次使用壓濾機進行。學員先設計出商規啤酒，並以其為目標，再更改配方(麥芽、穀物、啤酒花及酵母)用量及製程參數，生產高比重釀造啤酒。最後經稀釋後的高比重釀造啤酒與商規啤酒進行風味、物性及化性上的差異比較(如成品氣泡持續性、苦味度、色度、pH值及比重)，盲飲結果與標準品無顯著差異者為佳釀。這個部份的辨別度較為輕鬆，大多數組別的成品酒都有些許的差異，同時技師也統計學員的啤酒鑑別能力，並選出能力優秀者給予獎勵。作業為要求學員收集高比重釀造法文獻，撰寫報告以探討不同比重麥汁發酵在製程及成品上的差異。

在學員有啤酒釀造的基本認知後，最有趣的部份是啤酒設計比賽。由學員互相討論出參賽啤酒的配方及風味，到啤酒廠實現配方設計，最後在盲飲的條件下，由全體學員及助理教授一同票選最受歡迎的啤酒。這三階段的啤酒釀造，使學員對啤酒的生產工藝有較佳的了解，同時也讓學員對未來無論是開業或服務於相關產業，在工作時所可能面臨的挑戰有一定的認知。實習期間，也接觸到不同的工作設備，大多學員都非常滿意這種課程設計，也都獲得不少寶貴的經驗。

## 6. 專題實作

西元 1178 年，一群由法國來的僧侶在 Tay 河的南岸建立了一座名為 Lindores 的修道院，該修道院位於古老著名果園(Newbrough)附近，僧侶們教導當地農民種植水果及其他農作物，並自行釀造酒類(推測是啤酒或水果酒)用來討好官員。該修道院在歷史上佔有舉足輕重的地位，在威士忌界裡得名的原因是西元 1494 年的一份卷宗，內容記載英王 James 四世要求 Lindores 修道院以八蒲爾(bols)的麥芽生 Aquavitae (生命之水)，因此奠定了 Lindores 修道院為目前文獻紀錄上，最早生產威士忌的場所。但隨著 16 世紀的戰亂，該修道院已嚴重受損，土地持有權被瓜分，且散落至各家族，鄰近村民甚至把遺跡的磚頭及石塊竊取回加蓋圍籬，最後連地上建物都被賣掉。直到西元 1912 年，John Howison 買下 Lindores 修道院及鄰近的土地所有權，想要蓋一座威士忌蒸餾廠重振雄風，但隨後的戰亂導致原計畫的進行不怎麼順遂，直到他的孫子代，於兩年前才找到投資人，計畫在遺址旁種植古種作物，以及名為 Lindores Abbey distillery 的蒸餾廠。根據法令，威士忌在蘇格蘭生產必須要熟成三年以上，因此對於該廠而言會有三年的財物空窗期，因此該廠想要使用蒸餾出來的新酒，生產 16 世紀蘇格蘭人喝的生命之水(Aquavitae)，來填補前三年財務缺口，根據文獻推測，16 世紀的生命之水因為太過辛

辣，且沒有橡木桶熟成的概念，通常不會直接飲用，僧侶會以當地水果(如柑橘、梅子、蘋果或梨子)或藥草調味，因此找上了 **Heriot Watt** 大學幫他們設計產品。而我的論文專題就是為該廠設計古早味的威士忌(生命之水)調味配方。

## 四、產業參訪

### 1. 啤酒廠(Caledonian brewery)觀摩

這間位於愛丁堡市中心鐵路旁的Caledonian啤酒廠，因鐵路運輸的發展而促成的啤酒廠，創建於1865年，遵循英式啤酒的傳統製程，釀製出不少蘇格蘭的冠軍啤酒。2004年及2008年陸續將產權轉售給蘇格蘭企業Scottish & Newcastle，但隨即該企業於2008年被啤酒巨擘Heineken併購，導致民族意識較高的蘇格蘭員工心理五味雜陳。這間啤酒廠的大多製程已於近年翻新，如現代化的糖化槽及發酵槽，較特別的是設有兩座緊鄰在一起的糖化槽，共用一組麥粉/水混合器(grist mixer)，可藉由改變混合器的出口方向來控制糖化進料，如同威士忌蒸餾廠裡的烈酒檢驗箱(safe)一樣。此外，這間啤酒廠在煮沸程序仍使用傳統的銅壺式加熱器，內部設有蒸發罐以及導流裝置，閃亮的設備非常吸睛。該啤酒廠採用窖式矩形發酵槽，槽中設有管線來控制發酵溫度。該廠同時設有試驗級產線，小批次生產精釀啤酒。



Caledonian 啤酒廠



糖化槽



麥汁煮沸器



麥汁煮沸器內部（導流器）



發酵槽

### 2. 啤酒包裝線(Tennent Brewery)觀摩

Tennent啤酒廠座落於蘇格蘭工業大城Glasgow市邊，除了Tennent啤酒外還生產許多不同品牌的啤酒。課程安排參觀該廠瓶裝線、罐裝線以及桶裝線工廠，教授在臨行前一

日特別交代要學員們好好的體驗每分鐘2000罐的包裝速度，以及川流不息的瓶裝啤酒遊走在輸送帶上的震撼。但是到達該廠時，只剩下桶裝線開工，錯愕的學員們默默的走過寂靜的瓶裝線，前往正在維修中的罐裝線。所幸桶裝線的運作，讓此行沒有全部白費。在蘇格蘭，酒吧非常普及，到酒吧飲酒是蘇格蘭居民主要的社交方式。在英國高達51.8%的啤酒是以桶裝酒出售(2007)，雖然罐裝啤酒的銷量逐年成長，但桶裝啤酒的需求仍然不容小覷。就如同學科課程所提及，回收的桶裝啤酒會經清洗、移除雜物，再進行一連串的滅菌、清洗及裝酒作業。該廠桶裝啤酒包裝線的配置是採用步進式的前清洗機，再進入轉盤式的清洗/充填機裝酒，該廠也設有步進式的清洗/充填機，主要依產能需求調控作業設備。雖然大多數的包裝線在觀摩當日並未如期運作，但也讓學員有機會一探設備的內部構造，比如罐裝啤酒蓋的分配系統以及罐裝啤酒充填機。



Tennent 啤酒廠大門



桶裝啤酒作業區



罐裝啤酒作業區 - 封蓋機



瓶裝啤酒作業區 - 注酒機

### 3. 穀類烈酒蒸餾廠(North British Distillery)觀摩

該廠隸屬於Diageo與Edrington集團，年產量60 mla (百萬公升純酒精)，所屬員工有190人，是蘇格蘭產量第三大穀物蒸餾廠，主要供應Famous Grouse(威雀)調和威士忌。該廠設有兩套糖化設備、兩千公石的室內發酵槽及四千公石的戶外發酵槽，三座古菲連續式蒸餾釜(coffey still)及一座雜醇油分餾塔，擁有可存放九十萬桶橡木桶的倉庫群。該廠是唯一設有二氧化碳回收及純化裝置的穀類蒸餾廠，並設有許多的能源再

生及下腳回收裝置，如蒸餾廢液蒸發器(spent lees evaporator)、飼料工廠以處理麥粕及濃縮廢液，好氧發酵槽、厭氧發酵槽、甲烷儲槽以及甲烷/尾氣燃燒塔、汽電共生廠及廢水處理廠，生產酒精所產生的下腳及廢液幾乎全數轉製為副產品或能源，可堪稱為環保酒廠，堪稱是一本活的教科書。由於愛丁堡市的擴張限制了廠的發展，大多數的設備集中在有限的廠區空間中，鄰近新來居民也對該廠的營運有不同的意見，這或許是多數位在市區的酒廠都會面臨到的問題。由於該廠不是觀光酒廠，且在Diageo的政策下，隨身物品受到嚴格的管控。進入廠區觀摩前，背包及電子用品需鎖至小房間，並需聽完安全講座，配備反光背心及安全帽後才可入場。在連續式蒸餾釜的觀摩過程中，現場人員提到工業操作充滿了不確定性，也發展出一些非教科書會記載的應變做法。各分餾盤的溫度監控雖有精密儀器的輔助，但即使在高度現代化的英國，操作人員的工作經驗仍然還是現場作業的原則。

#### 4. 麥芽威士忌蒸餾廠(Glenkinchie Distillery) 觀摩

Glenkinchie蒸餾廠位在愛丁堡東郊，早期由地方農民所建造，廠名則以鄰近的Kinchie小溪命名，於1837取得合法蒸餾執照。該廠命運坎坷，先後多次易主，目前隸屬於Diageo集團旗下一員。該廠於1968年起，已從麥芽廠採購麥芽，取代自行發麥，設有一座糖化槽、每批次糖化投以9000公斤的麥芽，收取400公石的麥汁，總糖化時間約五小時，每天進行兩批次的糖化(夜間不糖化)，因此弱麥汁會儲存一夜，並保留到隔日晨再使用(南投酒廠大多在4小時內使用)。強麥汁隨後轉入400公石的木製發酵槽，發酵時間約64小時。該廠設有兩座銅製蒸餾釜以及蛇(蟲)管冷凝器，該廠初餾釜的操作容量僅309公石，經詢問前技術人員後得知，一批次的發酵(400公石)需分成1.3批次的蒸餾，因此該廠的發酵時間並非定值。同時，在Diageo的產量管制政策下，該廠的產能在近年來被調降，並同時縮減人力，週末既不糖化也不蒸餾。為了減低週末不蒸餾對發酵酒醪的衝擊，Diageo同意該廠改變發酵起始溫度，來調控發酵時間(如跨六日的發酵批次起始發酵溫度較低)。無庸置疑地，改變起始發酵溫度會對最終酒液的風味造成一定程度的影響，尤其是發酵時由酵母代謝所賦予的風味，該廠技師也同意此舉會對未來的單一麥芽威士忌造成風味變化，但Diageo集團似乎不太在乎。精餾釜容量為209公石，於76%abv將酒頭轉至酒心，採酒精度值切酒。平均蒸餾時間僅需短短六小時(南投酒廠80公石精餾耗時8~10小時)。該廠有橡木桶倉庫，主要使用美國波本桶及西班牙雪莉桶，如南投酒廠橡木桶倉庫，採用木條堆疊的方式儲存，堆疊一至二層，每年損耗約2%V/V。

因該廠座落於愛丁堡市郊，公共交通不便，酒廠售有接駁導覽聯票，一般觀光客可參加由愛丁堡市區出發的旅遊團，在導遊的講解下，到酒廠接力導覽，不過搭乘旅遊團

到酒廠參觀要價20英鎊，所費不貲。本公司酒廠多已遷離市區，或許可於熱門酒廠設接駁專車，做為提升觀光客造訪數的方法之一。該廠觀光導覽門票8英鎊，可折抵廠內單一麥芽威士忌產品3英鎊，該廠有精製的蘇格蘭蒸餾廠模型，非常吸睛，但生產現場不允許拍照。



行銷本公司產品



舊蛇管冷凝器



酒廠模型

## 5. Diageo 橡木桶作業園區觀摩

在蘇格蘭，不少蒸餾廠(麥芽及穀物)並未設有相應生產規模的儲酒倉庫，多數蒸餾廠以槽車運送新酒至政府核可的橡木桶倉庫進行裝樽、熟成及抽樽作業，隨後再將陳年酒液運至裝瓶廠進行調合及包裝。本行程參訪Diageo旗下位於Cambus的橡木桶倉庫園區，該倉庫聚落共儲有三百五十萬桶橡木桶，該集團於英國共儲有一到一千兩百萬桶橡木桶，為Diageo於蘇格蘭的第二大橡木桶倉庫群。進到園區內可見到許許多多壯觀的橡木桶小山，以及黑壓壓的倉庫。



園區入口



橡木桶堆積

### 抽裝樽作業工廠觀摩

在抽裝樽作業區中，由於是危險作業區不允許拍照，可分為三種不同的抽樽線：

1. 溝渠卸酒法：以人力滾動橡木桶至卸酒溝渠，將孔開口朝下，使酒液藉重力順著溝渠流入收集桶。這是較傳統的卸酒方式，操作效率也最差，每人每小時可處理8顆橡木桶。卸酒後的空桶會先經外觀檢驗，缺陷桶滾入橡木桶整理區，可用桶滾入裝樽區。裝樽時，酒液位於高處的暫存槽，藉液位差在人工輔助下以軟管或定點式的機台裝酒(圖片請參考Loch Lomond蒸餾廠一節)。
2. 改良型溝渠卸酒法：此法為在溝渠兩側設有輸送帶，橡木桶由人工推上架台，調整桶開口位置後移除橡木塞或直接在桶身鑽孔(現場看到的是使用電鑽開孔)，再將橡木桶推入輸送帶，當木桶移動至溝渠尾端時，酒液可完全排空。最後同1法進行分類及後續製程，此法可以連續操作，橡木桶處理速率可提高至每人每小時12桶。
3. 真空引導法：以真空泵在酒液儲存桶產生負壓，將酒液經軟管從橡木桶取出，這類取酒方式效率較高，但人工密集度也高。另一類型為高效型真空引導的抽酒方式，盛有酒液的橡木桶以三個為一個批次，推入可移動式的載台，載台將酒桶運送至抽酒區，三條連接負壓儲存槽的取酒管同時對準孔開口降下，系統以自動控制閥調整閥開度，直到橡木桶淨空後自動停止，載台再將空桶移出，每人每小時可處理20個橡木桶。在裝樽作業區中，也有類似的設備，差別為由抽酒改成裝酒，該廠設計一個棧板乘載六個橡木桶，可配合兩批次的裝抽樽作業，大幅提高運送及作業效率。

### 整桶廠觀摩

待修的橡木桶、使用至一定年限的橡木桶或熟成效率太差的橡木桶(在蘇格蘭通常為30~50年)，會依橡木桶策略(wood policy)將其拆解或再生化(regeneration)，處理後的木桶會給予新的名稱，再生桶(regeneration cask)，(可參考再生桶一節)。再生化的流程為：拆解→重整→蒸汽處理→裁邊/拋除內層表面→烤桶→刻桶內端溝槽→組桶→箍桶塑形→開孔→飽壓/測漏



待整修桶入廠



進口橡木片



蒸汽軟化-重組後的橡木桶



不同木片來源的重組桶



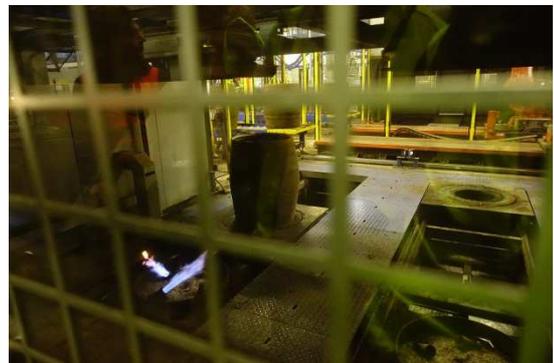
削邊+內層拋除



拋除內層後的橡木桶



機械定位至烤桶室



烤桶室



組桶



箍桶



開孔



檢驗



出廠

橡木桶於分解區由人工敲除箍圈，木條依序排入棧板運送至重整區，箍圈及端板藉天車送至下游組桶區。在重整區中，經驗老練的桶匠挑選合適大小的木條，並以臨時性的箍圈固定，蓋上臨時性的塑膠蓋子後，滾入架台藉傳送帶依序送入下方具有蒸汽噴嘴的蒸氣室，木材在此階段軟化並提升含水率。軟化後的木桶再由人工推入裁邊機，機器將木桶兩端削除至一定高度，也同時拋除桶內壁的部分焦化層(並非全面性的拋除)。處理後的橡木桶再以人工推上中央傳送帶後，藉機械手臂定位到各個烤桶機，烤桶機依需求(參數未提供)以混合氣體燃料引燃橡木桶內壁，木桶表層的半纖維素及木質素在此階段進行高溫裂解。經燒烤後之橡木桶由技師推入雕刻機，在木桶兩端刻出新的溝槽。塑形完成後的橡木桶會由經驗老道的桶匠裝上端板，並以蘆葦草充填縫隙，最後再以箍桶機定型。成型後的橡木桶必須通過容積試驗以及密封性檢驗，密閉試驗是在桶外塗上測試用劑(可能是肥皂水)，以高壓氣體進行飽壓測試，目視外觀是否有氣泡冒出(以色筆標註有洩漏的橡木片)，並監測桶內壓力是否隨飽壓時間的增加而下降，未通過測試的橡木桶則打回前端拆解，合格品轉入暫存區準備裝樽。這座整桶工廠屬半自動化的產線，相較於傳統高勞力密集的整桶作業區(如Loch Lomond蒸餾廠)，人員工作效率已大幅提升，但部分製程仍需仰賴豐富經驗的熟手桶匠(如：拆桶、重排及組桶)。

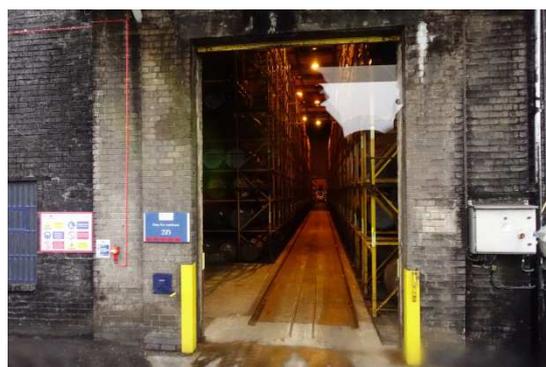
## 橡木桶倉庫觀摩

### 倉庫構造

在此橡木桶倉庫聚落裡的倉庫大多為磚造建築，倉庫地板可見到兩種不同型式，一種為全面覆蓋混凝土，另一種為部分覆蓋混凝土(可見裸露的地表土層)。未覆有混凝土的倉庫容易受到環境的影響，而混凝土地板則提供額外的水氣阻絕效果。倉庫出入口設有磚造門檻或緩坡以分隔倉庫內外。少量的通風口主要開在倉庫牆壁下方(正面四個，側面極少(如下圖)，倉庫上部僅設有少數通風管，推測是為了減少酒液散失所作的設計。



Google 空照圖



倉庫入口



倉庫側面



倉庫正面

### 橡木桶作業

橡木桶的堆疊有三種形式，分別為傳統堆疊法、層架式以及立式。其中採用傳統堆疊法的倉庫較少，層架式的倉庫堆疊高達十層，學員可站在載台上，上升到高層體驗作業人員在橡木桶倉庫內的感受。在層架式的橡木桶作業中，一個載台可作業兩個橡木桶，載台設有安全護欄，載台升至作業高度時，作業人員會以一個長約30公分的連結裝置(類似安全鎖)將載台與桶架連結，技師解釋該連結裝置除了固定架台以提升作業安全外，也提供橡木桶從載台滾至架台的通道，雖操作該安全裝置會減低工作效率，但也對人員及橡木桶提供一定的保障。在立式桶堆疊法的倉庫中，橡木桶以三或六個為一個單位佇立在棧板上，層層堆疊最高達七層，堆疊密度高。因可同時配合抽裝樽

作業廠的操作量，因此作業效率較高。此法高度仰賴堆高機作業，大幅降低了人力需求，但缺點是橡木桶調度的靈活度低，埋在倉庫深處的橡木桶無法單獨取出，主要適合用於大批次的橡木桶儲存，抽裝樽通常以數千個橡木桶倉庫為一個作業單位。橡木桶以條碼做管理，部分倉庫每桶標示，條碼以膠水黏貼在橡木桶端板。但不是每個橡木桶都有作標示，推測部分橡木桶是採用批次管理。

## 五、自助行程參訪

由於課程上安排的參訪，無法有效解決職在南投酒廠服務時所可能面臨到的生產問題(如蒸餾釜及糖化的操作及設備維護)，故職自費安排參訪蘇格蘭蒸餾廠，已拓展視野。因此是以觀光客的身分參加導覽，可體驗各酒廠的觀光客政策，同時也明以暗記錄下該廠導覽人員所提及的製程參數，可惜大多數蒸餾廠以“安全”為由並不開放使用電子設備，故無法帶回太多現場照片，技術參數揭露如下：

### 1. Oban蒸餾廠

創立於 1794 年，位於蘇格蘭西部高地的鄰海小鎮。該廠過去提供當地主要的工作機會及農產品的貿易，該鎮以該廠命名為 Oban。1880 年西部鐵路的興建，為該廠帶來龐大的商機，事業蒸蒸日上，但好景不常，二十世紀初期威士忌的大蕭條，使的命運坎坷的 Oban 蒸餾廠歷經轉手、火災及繼承問題，經營並不順利。即使在景氣轉好的年代，Oban 城市的發展嚴重限制了酒廠業務的擴展，最後只好在 1968 年代關廠，並在數年後更新多數設備，重新開啟有限產能的營運。如今 Oban 蒸餾廠為 Diageo 所有，且具有全蘇格蘭最小蒸餾廠(或許是占地最小)的稱號。Oban 鎮主要提供通往西北部島嶼區的航線，也提供連接通往艾雷島(蘇格蘭威士忌產區之一)的航線，西部公路及鐵路的建設使 Oban 市成為交通要衝，已轉型為觀光業為主的城市。或許基於行銷考量，Oban 蒸餾廠已成功由 Diageo 轉型成觀光酒廠，成為當地的著名觀光景點。該場多達十餘人處裡觀光等業務，相對於生產人力僅少少 7 人。

#### 生產及技術

設有外觀為木製的糖化槽(內襯不鏽鋼)，一個批次糖化耗用麥芽 6500kg，麥芽來自於 Diageo 所屬的 Rosedale 蒸餾廠，該廠半年生產泥煤麥芽威士忌，半年生產非泥煤麥芽威士忌。三階段的糖化用水溫度分別為 64、72 及 80-83 度 C，該廠糖化槽有個較特別的現象，就是可發現海鹽結晶，最早廠方懷疑是由含鹽分水所致，但由於糖化用水是由鄰近的淡水湖所提供，故馬上推翻了結晶海鹽由水帶來的說法。鹽分結晶的來源至今仍不清楚，最後推測是由海風帶入，理由是鄰近的濱海蒸餾廠也有發生相似現象。該廠設有四座 360 公石的木製發酵槽(最大操作容量為 300 公石)，發酵槽設有電動除泡設備，起始發酵溫度為 16.5 度 C，發酵時間約四天，產出較高濃度的酒醪(9%abv)。因廠區面積的限制，僅有四座發酵桶的 Oban 蒸餾廠並無法滿足的產能需求，導致每天只能操作一批次的糖化。推測長達四天的發酵疑似由較低的發酵溫度(16.5 度 C)來調控(普遍蘇格蘭蒸餾廠的起始發酵溫度為 18~19 度 C)，這部分與 Glenkinchie 蒸餾廠調控發酵時間的手法相似。

該廠設有兩座燈籠型的銅製蒸餾釜(目視約 150 公石及 80 公石)，並設有蛇(蟲)管冷凝器。餾出之初餾酒約 25%abv，酒心切取是依據酒精度判定，而非混濁試驗或蒸餾時間。高於 75%abv 的餾出液一律切至酒頭，收取時間僅 20 分鐘，酒精度 65%abv 以下歸入酒尾，酒心收取約 2 小時，酒心酒精度平均為 68%abv。蒸餾廢液混合麥粕供給附近畜牧業使用。酒心稀釋至 60.5%abv 後，灌入二次桶的波本橡木桶(註：從波本工業買來的橡木桶到蘇格蘭後，曾經其他蒸餾廠使用一次之後，才用來熟成 Oban 蒸餾廠的新酒)，儲酒庫的酒液損耗約為每年 2%，標準熟成年限為 14 年，該廠宣稱 28%的酒精損耗可為成品酒帶來蜂蜜的香氣。該廠的每周生產五天，每天一批次糖化，執行 24 小時輪班，每個班次僅有 2 名操作人員，依序操作糖化、發酵、兩批次的初餾、複餾及裝樽，製酒部門僅 7 個人。

### 觀光政策

門票 8 英鎊，並發放 5 英鎊折價券(限購 0.7 公升單一麥芽 14 年產品)。付費後，導覽人員先介紹該廠歷史，並介紹該廠單一麥芽產品的主要四個訴求風味(麥芽、泥煤、柑橘及蜂蜜)，在後續導覽中逐一點出各項風味的來源。介紹過程稍微平淡，若不提問則會遺漏不少技術資訊，最後在展示倉庫進行桶邊取樣，舀取熟成 11 年之原酒供現場遊客聞香，最後帶入品酒室品嚐單一麥芽 14 年產品(46%abv)。導覽過程中不允許拍照。



行銷本公司產品



酒廠外觀

## 2. Dalwhinnie蒸餾廠

位於蘇格蘭高地山區西側山腳 Turin 河谷邊的一座蒸餾廠。歷史上，由高地的農產品經河運送至低地，隨後軍用鐵路的興建取代了河運，加速了兩地的貨物往來，該廠主人嗅到商機，因此於高地通往低地的交通要道上設立 Dalwhinnie 蒸餾廠，成為農產品集貨區，可對經過的農產品進行加工。該廠四周荒蕪，非常突兀佇立在地公路旁，

兩座巨大的蛇(蟲)管熱交換桶非常搶眼。因廠址地勢高，山谷風強且潮濕，冬天室外溫度低達-20度C，年均溫5度C(更北方的 speyside 年均溫為8度C)，故該廠號稱蘇格蘭最高與蘇格蘭本島最冷的蒸餾廠。

### 生產及技術

使用由麥芽廠購入的輕泥煤麥芽，在半勞特式糖化槽裡製作麥汁，由於職參加的是基本價位的導覽行程，故導覽過程中，關於技術方面的問題均不予回答。該廠一天執行1~2批糖化，設有六座340公石的發酵槽，使用漿狀啤酒酵母，發酵60小時，得8%abv以上的酒醪。兩座洋蔥型的銅製蒸餾釜(容量不提供)，酒頭收取約20分鐘，餾出液降至72%abv轉酒心，酒心收取3~4小時，酒尾3-5小時，於蛇(蟲)管熱交換器冷卻蒸餾液。過去的發麥房已改成橡木桶倉庫，約可儲存三千桶橡木桶，主要生產三次過桶的威士忌(先於二次桶、再轉入波本桶，最後轉入雪莉桶)。

### 觀光政策

票價10英鎊，附有5英鎊的單一麥芽威士忌商品折價券，品評15年單一麥芽威士忌一杯，贈送一塊手工巧克力以及品酒杯，全程不准拍照。該廠票價雖高，但加上贈品後與折價券，容易讓消費者有還不至於太虧，不過該廠依導覽費用限制回答問題內容，確實令人感到意外。



## 3. Glenturret 蒸餾廠

文獻記載該廠建於1775年，位於高地南邊Turret河北方，但據傳1717年就開始進行非法蒸餾，直到1823年才取的合法蒸餾執照，號稱為全蘇格蘭高地最老，且仍在營運的蒸餾廠，同時也號稱是蘇格蘭第二小的蒸餾廠。該廠的糖化槽未設有機械攪拌設備，宣稱酒心的收取是以“感覺”切酒(實際上也是看比重計)，故也號稱是手工威士忌(Hand crafted whisky)。該廠所生產的烈酒主要供應至Famous Grouse(威雀)調和威士忌，廠區內設有一座巨大的銅雀為象徵性的地標。

### 生產及技術

過去該廠自行發麥，但現今麥芽由Simpsons malt公司所提供，全廠用水來自於廠區附近的湖水。該廠為了訴求傳統工藝，仍然使用有一百多年歷史的磨麥機，磨碎後的

麥芽導入木製的糖化槽(120 公石)，糖化流程以人工操作，在現場可以看到操作員以木槳對麥汁進行攪拌！導覽人員指出，這是一個非常無聊又吃力的職缺。一個批次使用 1000 公斤的麥芽，採三階段糖化，共收得 60 公石的強麥汁以供發酵，另外再收集 60 公石的弱麥汁(Sparge)供下一批次的糖化用水。相較於其他蒸餾廠的糖化製程，該廠以弱麥汁取代糖化用水的比例較其蘇格蘭蒸餾廠高出許多。由於舊發酵桶已使用 50-60 年之久，該廠於 2006 年起開始翻新發酵桶，為了避免翻新所造成的風味大幅改變，該廠以逐步替換的方式翻新發酵桶。現今設有 8 座操作容量為 60 公石的木製發酵桶，正好對應到每一批次 60 公石的糖化。每批發酵使用 25 公斤漿狀酵母，發酵時間長達 90-100 小時，產出酒精度為 7-8%abv，因發酵桶數量的限制，一週僅投料 8 個批次。

設有 120 公石的初餾釜以及 60 公石的精餾釜，初餾釜的容量與發酵槽的容量並不匹配，故需將兩批次的發酵酒醪，合併成一個批次的初餾釜待餾液，也因如此，該廠的發酵時間不是一個定值。酒頭收取 15~20 分鐘，切酒點約為 75-74%abv 間，酒心收取 3 小時，於 64%abv 切入酒尾，酒尾收集約 5 個小時，該廠之烈酒檢驗箱(safe)並未定期清潔，經年累月的銅綠大量沉積在蒸餾液出口處，導覽人員解釋-這是傳統。較有特色的是那兩座蒸餾器的冷凝器配置，採用殼管式冷凝器，一組冷凝器的酒氣走殼層，一組走管層，算是另類教材。裝樽的酒精度未明確提及(僅說低於 70%abv)，於美國波本橡木桶、美國白橡木雪莉桶及西班牙雪莉桶中熟成，平均一個橡木桶可重複裝填 2-3 次，熟成後的酒液最後以槽車運送到位在 Glasgow 的工廠調合及裝瓶。

### **觀光政策**

參加導覽的門票為 9 英鎊，廠內禁止使用電子設備，在接待大廳設有全世界最大的威士忌酒瓶(200 公升)，導覽過程有介紹一隻長相邪惡的威士忌貓(名叫 Turrent)，據說此貓在世時曾抓過 28899 隻老鼠。酒廠導覽的路線並未遵循原料路線，可能是因為建築物配置的關係，順序跳來跳去的，對不熟悉威士忌製程的友人造成不小認知障礙。導覽結束後，帶入風味品評室進行氣味記憶遊戲，先聞過藥草及香料，再以風味卡做測驗，入門級的導覽中有這樣的安排確實少見(通常風味體驗需另外收費)。一行人帶到最後的展示廳，導覽人員拿木槌依序敲打象徵該廠風味的木片，最後敲出如巨星登場般的音效，逗樂了不少遊客。在品酒室中每人可品評一支該廠的單一麥芽威士忌產品。在展售店有擺上一桶名為 Andy Murray 的原桶強度威士忌(60.1%abv)，提供現場裝瓶，要價 75 英鎊。整體來說，這間蒸餾廠主人在行銷上花了不少心思。



銅雀



威士忌貓



最大威士忌瓶



殼管式冷凝器



風味小卡 + 隨手筆記



手動裝瓶



特色包裝

#### 4. Loch Lomond蒸餾廠

屬於 Loch Lomond 集團下的一座蒸餾廠，為蘇格蘭少數同時生產穀物與麥芽威士忌的蒸餾廠。穀物威士忌年產量約八千萬公升(純酒精)，麥芽威士忌產量為五百萬公升，旗下產品線多，除自有品牌的調合及麥芽威士忌，也供應其他酒廠生產調合式威士忌。該廠於 1993 年起開始生產穀物威士忌，1999 年在新增兩組壺式蒸餾釜後開始生產麥芽威士忌。這間蒸餾廠因不開放觀光客參觀，加上獨特的製程故一直覆有神秘的面紗，

一般消費者難得其門而入。有別於蘇格蘭蒸餾廠的壺式蒸餾釜，該廠的單次蒸餾釜設有分餾管柱，因此使該廠使用此蒸餾器所生產的麥芽威士忌，在命名上飽受爭議。這個特殊的蒸餾器於 1955 年發明，稱為 Lomond still，管柱內設有可調整角度的平板，以調整管柱內的平板角度來控制迴流率及分餾板數，可以提高酒精濃縮率，進行不同成份的分餾。調整平板與酒氣行進方向平行時，宣稱可視為普通蒸餾釜(較粗的天鵝頸)，調整與酒氣行進方向垂直時可視為管柱式蒸餾釜。

### 生產及技術

該廠設有兩座麥芽儲槽以及四座穀類儲槽，麥芽磨碎前除了秤重外，還經專業的除石機(De-stoner)與電磁裝置(De-metaler)以降低硬物對後續設備的損壞。麥芽與水經由管線導入不鏽鋼製的 440 公石糖化槽，一批次糖化使用 9500kg 的麥芽，醱化起始溫度為 65 度 C。設有 8 座 230 公石的發酵槽(一批次的糖化導入兩批次的發酵桶)以及數座巨型發酵桶(主要供穀物威士忌生產用)。穀物威士忌的生產投以液態(漿狀)酵母，麥芽威士忌的生產則投以 Curry (前 DCL)所生產的 M 及 MX 系列威士忌酵母。蒸餾產線除了見到新購的 220 公石的壺式初餾釜及 170 公石的壺式精餾釜外，也見到四座 Lomond still，由於具有分餾管柱，酒精的濃縮比例較高，酒頭酒精度可高達 90%abv，酒心收取區間為 80~65%abv。除此之外，設有一座 Coffey still(連續式蒸餾釜)供穀物威士忌生產，穀物糖化配方比例為 91.5%小麥及 8.5%麥芽。



酒廠外觀



Lomond still



烤桶機



抽裝樽機



大型海綿

該廠設有十餘座橡木桶倉庫，主要為美國波本橡木桶，有臥式推疊也有立式堆疊，臥式堆疊最高達七層，立式堆疊高達八層。橡木桶抽裝樽以6個橡木桶為一個作業單位(同Diageo的Cambus倉庫)，一次同時處理三個橡木桶，以真空泵進行抽樽，以液位高差進行裝樽。該廠同時設有整桶廠，可將老舊橡木桶再生，以提升橡木桶再利用率。該廠使用的烤桶機，屬於臥式烤桶機，在Cambus看到的是立式烤桶機。在倉庫現場發現一大塊海綿，經詢問後得知，位於第二層的橡木桶在卸出鐵架時，可直接推到海綿上，相較於堆高機作業，可大幅提升工作效率。在其他酒廠也發現過類似的巨大海綿，如Auchentoshan蒸餾廠。

## 5. Glengoyne蒸餾廠

這間蒸餾廠的位置座落在蘇格蘭高地與低地的交界處，廠區橫跨分隔兩地的公路，由於在過去高地與低地的稅收不同，在蘇格蘭高地享有較低的蒸餾稅賦，故酒廠主人將糖化、發酵及蒸餾製程設在低地側，產出之新酒經地下管線，泵入高地側的倉庫，藉以提升酒廠獲利。該廠在鄰近區域設有十二座池塘，並種植蘆葦以創造出濕地環境來吸引多樣性的物種定居，號稱全蘇格蘭最美麗的酒廠。實際上，濕地的設立主要是為了提供蒸餾廢液的處理(濕地計畫)。

### 生產技術

發麥工廠早已停用，並改建成展示用的橡木桶倉庫供觀光客參訪，麥芽改由專業麥芽廠購買。在糖化的流程中，導覽員詳細的介紹每一個步驟的製程參數，一個批次糖化採用4000公斤的麥芽與150公石64度C的糖化用水混合後進入糖化槽，經濾排後，淋上165公石77度C的清水，二次濾排結束後以125公石90度C的清水將麥粕中的殘糖移除，本段製程總共收得330公石的強麥汁，剩餘麥汁做為下一批次的糖化用水。每批次糖化費時7小時，每天兩個批次的糖化。該廠共有六座190公石的木製發酵槽，採用奧勒岡松木製成，槽齡已達27年。由於糖化槽的容量與發酵槽並不批配，故約一批次的糖化可以提供1.7批次的發酵槽所需，因此發酵時間不是定值。發酵起始溫度為18度C，投予60公斤的壓榨蒸餾酵母，發酵最低54小時，終溫33度C，得7-8%abv酒醪。

使用洋蔥型的蒸餾釜(中間有球狀突起的破泡設計)，但初餾釜的容量又與發酵容量不匹配，有效操作容量為130公石，一批次190公石的發酵需以1.4批次的蒸餾去化，經蒸餾後的酒精度可提升至25%abv。設有兩座精餾釜，各50公石，酒頭收至74%abv，收取時間僅4~5分鐘，酒心收取3小時，且酒尾僅2小時(未提及切酒點)。該廠主要

以雪莉桶為主，導覽人員提及空桶購入價，波本桶每桶約 80 英鎊，雪莉桶每桶為 800 英鎊，以強調該廠酒液的價值，同時也提及該廠每產生一公升的酒液須要耗用一百公升的水(若數據屬實，該值遠超過蘇格蘭麥芽威士忌的平均用水量一倍之多)，不怎麼環保。



酒廠外觀



水源



接待室(前廠長辦公室)



蒸餾房



熟成示意展室窗



純展室用倉庫



自助裝瓶

### 觀光政策

參觀票價 8.5 英鎊，稍微不同於其他的觀光蒸餾廠的操作模式，繳費後可以進入佈置精美的休息室觀看飲片及形象廣告，就像傳統的英式接待大廳一樣。導覽人員隨後進來講述該廠歷史、環境，以及進入該廠區的安全規範及限制，隨後提供樣品品評，品嚐完後才帶入生產線。除了觀光酒窖允許拍照外，其餘作業場所嚴格禁止。觀光酒窖象徵性的用鐵門跟大鎖將橡木桶鎖在倉庫內，表達酒液珍貴的意思。展示廳也展示了

該廠用過的不同尺寸橡木桶，也陳列出酒液在波本桶、二次波本桶、美國雪莉桶及歐洲雪莉桶，在熟成不同時間的樣品顏色(與噶蘭酒廠極為類似)。在展售區可自己裝瓶於歐洲雪莉桶熟成的單桶威士忌(59.9%abv)，該設備有 0.7 公升的定量管，每瓶售價 85 英鎊。

## 6. Auchentoshan 蒸餾廠

蘇格蘭的麥芽威士忌蒸餾廠大都採用二次蒸餾的技術來純化酒質，以降低酒醪中不被喜愛的氣味(在過去酒液越純淨代表品質越優良)，Auchentoshan 為了得到更純淨的酒質，開發出特有的三次蒸餾技術，雖目前威士忌在酒質的優劣定位已與過去大不相同，但該廠仍保有其傳統的工藝。

### 生產技術

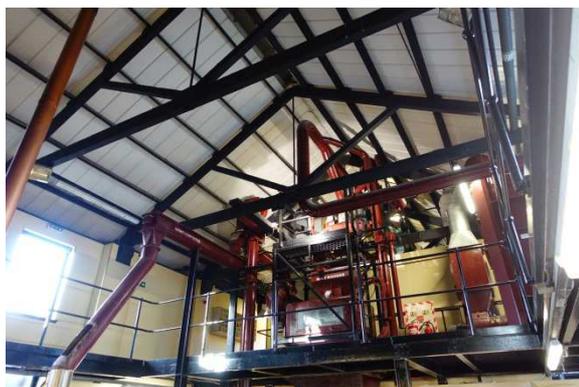
設有外觀為銅製的糖化槽，每批次使用 7000 公斤的麥芽，加入 200 公石的糖化用水(64 度 C)，先後淋洗 72 度 C 100 公石以及 95 度 C 200 公石的水，一日最高糖化三批次，每批糖化耗時 6~7 小時，收取麥汁 350 公石。麥汁於 380 公石的木槽發酵，投以 35 公斤乾酵母(Distiller's yeast)，發酵時間為 57~60 小時，收得 8%abv 酒醪(酒醪味稍酸，酵母及乳酸發酵氣味明顯)。該廠設有三座容量分別為 175、80 及 115 公石的蒸餾釜，收取 18、54 及 81%abv 的餾出液。第一次蒸餾將 8%酒醪於初餾釜蒸餾，取得初餾液(低度酒)，二次蒸餾分離出酒頭及酒心，酒頭與低度酒混合後，回到二次蒸餾釜蒸餾，酒心進入三次蒸餾釜。第三次的蒸餾僅收取 82.6~80%abv 為酒心，稀釋至 63.5%abv 進行裝樽，酒頭酒尾則混合二次蒸餾的酒心，再回三次蒸餾釜蒸餾。或許是酒醪的味道較雜，故需發展三次蒸餾技術以取得較可接受的新酒，該廠酒心與其他廠酒心風味明顯不同，屬較清淡的酒體，但帶有較重的酒頭味。該廠過去就有使用紅酒桶熟成威士忌的歷史，目前也保留其傳統，同時該廠也採購熟成 Cabernet Sauvignon 的歐洲橡木桶，做威士忌的熟成。但主流還是使用傳統的波本桶及 Oloroso 雪莉桶。

### 觀光政策

這間酒廠是少數開放觀光客拍照的酒廠，基本導覽費用為 7 英鎊 60 分鐘，可品評兩款單一麥芽威士忌產品(波本及雪莉桶)。除了基本導覽外，還設有 30 英鎊 90 分鐘的導覽(可品評高單價的樣品)，以及 55 英鎊 135 分鐘由生產人員帶領的深度導覽，可於調合室品評 6 支樣品。除基本導覽外，其他導覽的價位實在不低。但以價位安排導覽路線的方式，或許在未來酒廠規劃深度導覽時可做參考。



酒廠外裝置藝術



磨麥機



糖化槽外觀



糖化槽內部



木製發酵槽



蒸餾釜



特製的檢驗箱



橡木桶倉庫及大海綿

## 7. Glenlivet 蒸餾廠

始於農村型的蒸餾廠，在 Spey 河上游支流的 Livet 河畔設廠。1822 年英王喬治四世出巡蘇格蘭時，當地士紳為討好英王奉上由 Glenlivet 生產的威士忌而得名，政商關係良好的酒廠主人隨後於 1824 年向英王爭取合法蒸餾廠執照。在當時，因非法蒸餾風氣盛行，故酒廠主人極不得人緣，甚至被同業排擠。但由於名氣響亮，銷售業績漸增，導致諸多冒名 Glenlivet 的冒牌威士忌充斥市場，政商關係良好的酒廠接班人最後向英國法院提出正名要求，隨後取得“The” Glenlivet 的專用權。所有由 Glenlivet 蒸餾廠所生產的單一麥芽威士忌都可以在 Glenlivet 前加上“The”，以示其純正血統。如今，該廠已為高度自動化的威士忌蒸餾廠，同時也設有廢棄物及能源回收裝置，參訪時，該廠正在建造生化處理廠、甲烷工廠及汽電共生廠。該廠也有參與濕地計畫(將含銅蒸餾廢水有限度的排放至濕地)，諸多 Spey 區的蒸餾廠有參與該計畫(如 Glenfiddish)。

### 生產技術

該廠的麥芽由麥芽廠供應，每週需求量 530 噸，但額外增設 400 噸的麥芽儲槽以因應冬天大雪封路的狀況。釀造用水過去採用井水，冷卻採用河水，但目前已無法足夠供應現有的需求量。該廠產能目前已擴充到兩組威士忌產線，每週 42 批次糖化，每批糖化 13500 公斤，使用 1000 公石釀造用水，收取 590 公石麥汁，三階段糖化之水溫分別為 65、78 與 90 度 C。採用高達 8 公尺的木製發酵桶，最高已有 60 年的使用歷史，最大容量為 1000 公石，不過只操作 590 公石酒醪。目視直徑約 4 公尺，屬高寬比較大的發酵桶，設有破泡裝置。每批次發酵投以 300 公升該廠特有的酵母漿，發酵時間 55 小時，有著非常濃烈的花果香，類似熱帶水果香氣，導覽人員說這是由於特殊的酵母菌株所造成。

該廠設有酒醪預熱裝置，加熱後的酒醪可減低蒸餾釜的操作時間，也提升能源效率。設有數十對銅製蒸餾釜，初餾釜容量 150 公石，精餾釜 100 公石，每一對蒸餾釜外型都相同。每批次蒸餾僅耗時 5.5 小時，除了管殼式冷凝器外，每套蒸餾釜都設有蒸餾液冷卻器(Cooler)，部分精餾釜之冷凝器設有潛熱回收裝置，用以製造閃蒸汽。烈酒檢驗箱裡都具自動化的取樣與切酒裝置，屬於高度自動化的蒸餾廠，蒸餾參數並未提供。導覽人員指出，烈酒檢驗箱現在已無實際價值，早在 1980 年代，稅務官“已相信”酒廠不會逃稅，因此現在只有觀賞用途，許多新設的蒸餾釜已經不設烈酒檢驗箱。在蒸餾房裡，有非常巨大的對外窗戶，除了具自然採光功能外，亦可做為蒸餾釜整修時的吊掛作業平台，屬於頗實用的設計。橡木桶於磚造的倉庫裡熟成，倉庫設有鐵皮屋

頂，地面為裸露土層。或許是因橡木桶短缺的影響，該廠除了於波本及雪莉桶熟成外，已規劃有干邑白蘭地桶的過桶策略(美國波本桶-干邑白蘭地桶-美國波本桶)。



門牌



裝置藝術



將廢設備改裝為展示廳



泥煤礦廠工程車

### 觀光政策與泥煤礦場

參加該廠基本型導覽並不需要付費，每廿分鐘開團，簡單的參觀酒廠的一小區塊，可品評一杯單一麥芽威士忌。更深度的導覽必須付費，要價 35 英鎊，時間約兩小時。導覽人員特別介紹了當地泥煤，並指出鄰近的泥煤礦場只要出酒廠大門轉兩個彎就到了，職與同行友人興奮的出發採礦，但最後卻要翻過幾個山頭，在 14 公里外的荒郊野嶺，才發現導覽人員所提及的鄰近礦場。泥煤為碳化率低的煤礦，由於雜質多，燃燒時會釋放出大量的煙，有如燒稻草般的氣味，而礦場裡的未乾燥泥煤及乾燥後的泥煤，其實並無法直接嗅出顯著的泥煤氣味，充其量只是土味。泥煤通常開採於表土層下，文獻指出開採的深度會對燃燒後泥煤氣味有顯著的影響。該 Tomintoul 礦區似乎已開採至含水層上部，走在上面有如踩在彈簧床墊般的感覺。

## 8. Bushmill 蒸餾廠

愛爾蘭威士忌與蘇格蘭威士忌蒸餾廠的差別在於，愛爾蘭人因受工業革命的影響較蘇格蘭人顯著，愛爾蘭人的民族性也較願意投資新設備，因此愛爾蘭威士忌的特色是“大”，有較大的糖化槽、大容量的發酵桶及巨型蒸餾釜等。雖產能可以快速提升，

但因蒸餾釜的體積大，銅反應程度低，僅使用傳統的兩次蒸餾無法獲得當時消費者喜愛的純淨酒液，因此愛爾蘭蒸餾業者普遍採用三次蒸餾技術，旨在獲得較受歡迎的酒質。該廠位於北愛爾蘭北方的 Bushmill 鎮，為愛爾蘭少數仍在運作的蒸餾廠之一，創建於 1608 年，一路走來並不順遂，十九世紀的大火及二十世紀的戰爭對該廠造成巨大的損害，但該廠也走過幾度輝煌的歷史。該廠對北愛爾蘭的經濟貢獻匪淺，為北愛爾蘭的經濟支柱之一。影響力之大到由愛爾蘭銀行所發行的十英鎊貨幣，是以 Bushmill 蒸餾廠為貨幣圖片。



老酒廠外觀



北愛爾蘭紙鈔



特色酒吧



接待大廳

### 生產技術

該廠於 1971 年前自行發麥，隨後與其他蒸餾業者相同，改為向麥芽廠採購。在 2008 年前，部分產線仍採用傳統式的糖化槽，並雇用童工攪拌麥汁，創造了許多就業機會，但由於人事成本逐年提升，如今已全數改用現代化的糖化槽。每批次的糖化使用 10000 公斤的麥芽，生產 480 公石的麥汁，採二階段糖化，糖化用水溫度分別為 65 度以及 77 度 C，每一批次糖化耗時 5 小時。麥汁冷卻至 20 度 C 後發酵，並投以 80 公斤由英格蘭購入的酵母，發酵時間精確的控制 59 小時，產得酒精度 8%abv 的酒醪。該廠設有十座最大容量可達 500 公石的蒸餾釜，採三次蒸餾，餾出液酒精度分別為 25、70 及 83%abv，酒心稀釋至 63%abv 裝樽。產線高度現代化，每一批次的新酒生產僅設有一位操作員，

個別負責糖化、發酵以及蒸餾。該廠倉庫採高達 6 層的立式堆疊法，使用加拿大、美國、法國的二手橡木桶，也使用西班牙 oloroso 雪莉酒桶、葡萄牙的馬德拉葡萄酒桶，也嘗試於 Laphroaig 的泥煤酒桶中熟成。該廠設有 18 座橡木桶倉庫，橡木桶儲量高達 25 萬桶，與友廠購入穀物威士忌生產調合式威士忌。該廠設有自己的調合工廠及包裝工廠。

### 觀光政策

門票 7.5 英鎊，廠區內不允許照相，可持該門票選購一杯 12 年威士忌。聘請退休的操作員進行導覽，或許是為了與蘇格蘭威士忌一較長短，導覽人員常將愛爾蘭威士忌與蘇格蘭威士忌做比較，也常開蘇格蘭威士忌業者的玩笑，算生動有趣。

## 9. Forsyths 蒸餾釜製造工廠

Speyside 可視為蘇格蘭威士忌產業的心臟地帶，因地處偏遠且氣候惡劣，稅務稽查不易，故創造出威士忌產業聚落，該區除了有高達一百多間的蒸餾廠外，威士忌產業所需的設備供應鏈一應俱全，如製桶廠、整桶廠、蒸餾釜商及發電廠。Forsyths 為少數蘇格蘭蒸餾釜供應公司，先後供應本公司數座蒸餾釜。由於威士忌近年來市場表現樂觀，不少蒸餾廠有計劃擴充產能，或進行設備汰換(如台灣的噶瑪蘭蒸餾廠以及蘇格蘭的麥卡倫蒸餾廠)，該公司蒸餾釜訂單兩年內幾近滿載。



粉紅色蒸餾釜



作業現場一瞥

銅製蒸餾釜的生產屬高度勞力密集工業，由精銅開始，先以 11000bar 的高壓水刀切割精銅板，再手工敲出各部件的雛形。在進入廠區前，遠遠的就能此起彼落的聽到打”銅”的巨響，如同鐘聲一樣，非常震撼。部件雛形隨後以槌打機定型，同時壓實銅體，最後以氫酸清洗，獲得成品部件。以人工槌打接合各部件，形成蒸餾釜雛型，隨後需

再人工槌打定型、再清洗，最後再拋光至金屬色澤。經拋光後的銅體是粉紅色的，該顏色在常溫下的變化速率較慢，但一經加熱後，馬上轉成常見的亮銅色。亮銅色的蒸餾釜可交付給蒸餾廠，或依蒸餾廠需求可上漆，以保持嶄新的外觀，否則會在生產過程中逐漸轉成暗銅色並失去光澤。

在蒸餾釜設計上，蒸餾釜的操作速率主要受限於能源輸出效率，也就是加熱裝置的設計，如加熱盤管的空間配置，以及冷凝器的熱交換面積。但在初餾釜的實際操作中，抑制沸騰時湧起的泡沫是控制能源輸出(蒸汽閥開度)的重要依據，同時，而蒸餾釜的上部外型(如天鵝頸形狀)以及酒醪品質，是影響泡沫湧起速率的關鍵。該廠相當自豪能設計出 300 公石的壺式蒸餾釜，並且可在 6 小時內完成蒸餾。經詢問如何操作如此高效率的蒸餾操作後，得知許多蘇格蘭蒸餾廠為了提升蒸餾速率以及減低能源損耗，會添加天然消泡劑(皂)來抑制泡沫，是合法的製程助劑，這也解釋了過去職參訪蒸餾廠時所產生的“效率”疑惑。

## 10. Brewdog 啤酒廠

Brewdog 的生產工廠位於阿伯丁(Aberdeen)北方的 Ellon 小鎮，創建於 2007 年，是非常年輕的啤酒廠，但在英國享有極高的知名度。Brewdog 公司開設自有酒吧，販售各種具有特色的精釀啤酒，因此在啤酒市場快速崛起，其中以 Brewdog Punk IPA 最為著名。建廠初期僅有一座 10 公石的糖化/過濾/煮沸三合一槽，但在短短的數年內，擴充至每批次 100 公石的糖化槽，舊產線改成小批次產品產線，或供新產品開發。令人驚訝的是，該廠僅設有三座酵母槽，但同時使用 3 種不同酵母株，交叉感染率極低，確實不可思議。該廠的產品策略為，生產數款基本酒體，並在後段製程調整風味，每年創造出數十種產品項。參訪同時，該廠正在擴充每批次 300 公石的產線及 1800 公石的發酵槽，預計 2016 年底投產。

該廠的產品已遍佈英國各大超市，英國許多城市也都設有該品牌的酒吧，Brewdog 的瓶裝酒及罐裝酒已觸及全世界，觸手也深入台灣的精釀啤酒市場，屬於非常成功的青年創業範例。雖然現在該廠的生產規模，已經與商用啤酒廠沒太大區別，但大多數消費者仍將其產品定位在精釀啤酒，在這短短九年，精釀啤酒在英國已經對既有的啤酒企業造成巨大的威脅。該廠除了擴展啤酒產線外，也計畫擴展烈酒產線，預計投產伏特加、蘭姆酒、白蘭地及威士忌，幾乎囊括所有烈酒品項。廠內員工似乎都是藝術家，在發酵桶及牆壁上畫滿各式個性塗鴉，為該品牌的特色之一。



酒廠大門



一代產線



二代產線



三代產線



蒸餾產線



展售中心

## 11.小記

蘇格蘭的蒸餾廠都喜歡為自己冠上頭銜，如佔地最小的 Oban 蒸餾廠、產量第二小的 Glenturret 蒸餾廠、地勢最高且均溫最冷的 Dalwhinnie 蒸餾廠、蘇格蘭最美麗的 Glengoyne 蒸餾廠、唯一在蘇格蘭實施三次蒸餾的 Auchentoshan 蒸餾廠，唯一設有二氧化碳回收設備的穀物蒸餾廠 North British 蒸餾廠，蘇格蘭第一間取得執照的 Glenlivet 蒸餾廠等等。各個蒸餾廠都宣稱其特色作為行銷或是導覽的口號，值得公司酒廠學習。另外，大多數的蘇格蘭蒸餾廠都採用收費的方式進行導覽，除了可投資觀光酒廠的軟硬體設備外，亦可聘請專業導覽員，搭配現場作業員共同演出，可提供給公司旗下觀光酒廠參考。

過去在國內，總是認為蘇格蘭的蒸餾廠自動化的程度應該非常高，設備間的互相配合及支援應該非常匹配，並極力遵守傳統製程，以堅持原有產品風味。但實際了解蘇格蘭威士忌的文化後，發現並不是每間蒸餾廠都如我過去所想，部分蘇格蘭蒸餾廠的自動化程度甚至不如南投酒廠，部分蒸餾廠因收購二手設備或因場地限制，造成許多上下游設備的容量並不匹配(如 Glenturret、Glengoyne、Glenkinchie 蒸餾廠的發酵批次量與麥汁收得量及初餾釜操作量不同)，導致製程不連貫。相較於被戲稱為拼裝車的山投酒廠，不得不佩服林錦淡廠長的用心，將設備搭配如此盡善盡美。另外，部分蘇格蘭蒸餾廠為了因應週末時的人力短缺，改變既有製程，以調控發酵時間的方法來因應。雖然學科教授明確的指出不穩定的製程難以獲得均一的產品品質，改變製程會對成品的風味穩定性造成衝擊，反觀蘇格蘭威士忌的實際生產面，似乎沒有想像中的這

麼堅持。此外，為了因應傳統橡木桶(波本及雪莉桶)的短缺，多數酒廠都試圖採用波本桶或雪莉桶以外的橡木桶熟成，如 Oban 蒸餾廠的二手橡木桶(re-fill)熟成、Auchentoshan 蒸餾廠的紅酒桶、Glenlivet 蒸餾廠的干邑白蘭地桶與 Bushmill 蒸餾廠的泥煤桶、法國桶及加拿大橡木桶等。因此，現今的蘇格蘭威士忌在多變的環境，已做出非常大的改變，也應証了許多蘇格蘭威士忌消費者指出，現在的蘇格蘭威士忌和過去不一樣了。參訪麥芽威士忌蒸餾廠所獲得廠方所提供的技術資訊，彙整如下表，可供有興趣同仁參考比較。

表：蘇格蘭威士忌酒廠製程參數

酒廠名	Glenturret	Nantou	Glengoyne	Dalwhinnie	Oban	Auchentoshan	Glenkinchie	Loch Lomond	Bushmill	Glenlivet
麥芽(kg)	1000	2500	4000	-	6500	7000	9000	9500	10000	13500
糖化溫度(°C)	-	64/75/85	64/77/90	-	64/72/80	64/72/95	-	65	65/77	65/78/90
糖化時間(hr)	6-7	6	7	-	8-10	6-7	5	-	5	-
麥汁/麥芽	6.0	4.8	4.75	-	4.6	5.0	4.4	4.6	4.8	4.4
麥汁收量(HL)	60	120	190	300	300	350	400	440	480	590
發酵批次量 (HL)	120	120	190	300	300	350	400	230+?	480	590
發酵時間(Hr)	90-100	60	56	60	96	57-60	平均 64	-	59	55
酒醪強度 (%abv)	7-8	8	-	8-9	9	8	8-9	-	8	8-9-
蒸餾釜容量 (HL)	1 <sup>st</sup> 120 2 <sup>nd</sup> 60	1 <sup>st</sup> 80+40 2 <sup>nd</sup> 40+20	1 <sup>st</sup> 165 2 <sup>nd</sup> 50x2	-	-	1 <sup>st</sup> 175 2 <sup>nd</sup> 80 3 <sup>rd</sup> 115	1 <sup>st</sup> 2~300 2 <sup>nd</sup> 2~300	1 <sup>st</sup> 220 2 <sup>nd</sup> 170	1 <sup>st</sup> <500 2 <sup>nd</sup> <500 3 <sup>rd</sup> <500	1 <sup>st</sup> 150 2 <sup>nd</sup> 100
切酒心點	74-64	74-64	74 - ?	72 - ?	75-65	平均 81	76 - ?	80-65	平均 83	-
初餾釜容量/ 精餾釜容量	2	2	1.65	-	-	-	-	1.3		1.5
裝樽酒精度 (%abv)	<70	60	63.5	-	60.5	63.5	-	-	63	-

由於導覽環境吵雜，部分導覽人員蘇格蘭腔調重，以上數據力求精確

## 叁、心得及建議

### 1. 求學歷程

非常感謝台灣菸酒公司給予機會到英國蘇格蘭Heriot-Watt大學參加釀造與蒸餾課程，雖然參訓的目的是威士忌的生產技術，但大多數課程都由威士忌的前身“啤酒”開始教授。因此透過這次的課程，學習不少啤酒釀造的原理，也瞭解麥芽的製作對啤酒及威士忌的影響力。在赴蘇格蘭受訓前，於南投酒廠製造課製酒股已累積了一點實務經驗，主要著重在威士忌以及水果酒的生產，因此在課程中的麥芽生產以及啤酒釀造，屬於較新穎的知識，雖然求學過程較不輕鬆，但也獲得許多。在威士忌的蒸餾及熟成課程中，新的資訊不僅開拓較寬廣的視野，也啟發許多想法，可較有依據的解釋現象或製程背後的原理，尤其是這部分牽涉到許多的熱傳、質傳及反應動力學，剛好與所學背景相符，可有較多的領悟。在蘇格蘭求學過程中，充分的體驗到中西式的教學方式及理念的不同。不像在台灣的教師通常會在課堂上詳細的解釋授課內容，西方教師大多稍微解釋現象及原理，並指派作業促使學生自行深入了解，因此花費大量的學習時間在文獻收集與閱讀上，最困難的是要在指定的字數內完成作業的撰寫。除了學科的作業外，術科的作業也相當繁重，實習或實作皆需以文獻輔佐，交上 1000~3000 字不等的作業。班上同學們大多來自歐美國家，並在西方的教育體制薰陶下，表達及寫作能力優越，加上語文的優勢，對於東方學生來說確實是不小的挑戰。

### 2. 精進知識與反思

在教授的引導下，從麥芽的生長、糖化，到接種酵母進行發酵，無論是麥芽催芽、乾燥方式、糖化的參數、設備設計、濾排的時間、麥汁過濾與否、發酵時的溫度、酵母菌種及酵母投量…等等，都會影響成品的風味表現。在威士忌的蒸餾部分，從酵母特性、蒸餾釜的設計、能源輸入功率、初餾酒暫存槽的容量、入料的溫度(預熱酒醪與否)甚至是在殼管式冷凝器中的酒氣行走方向，或是蒸餾釜外觀是否閃閃發亮，都可能改變新酒的風味，更別提多樣化的橡木桶操作工藝。在此，深思良久，此行雖可接觸到很多在南投酒廠不易取得的資訊，在走訪蒸餾廠時也取得不少實務資料，因此可提供南投酒廠提升產率、提升工作效率或是提高能源效率的作法建議；但矛盾的是，無論改善製程的任何一個參數，都會或多或少的影響到酒液的風味表現，進而改變酒廠原有的風格。目前南投酒廠產品已受消費者喜愛，應該要保留原始製程以固定既有風味，或是改善製程以提高效率，確實值得本公司省思。不過，大部分的蘇格蘭蒸餾廠選擇後者。

### 3. 開拓視野

參與訓練的同學們，來自世界上的各個地方，有加拿大、美國、歐洲諸國、印度、日本及韓國等，除了應屆生外，許多學員已在啤酒廠、酒吧或蒸餾廠有工作經驗，在聊天的過程中或是辦理品酒會的同時，互相分享了各個地方的飲酒習慣以及文化。許多在啤酒生產中被視為負面氣味的成份，在不同的文化背景下會有不同的表現。其中較有意思的是 MBT。棕色的玻璃瓶比綠色的玻璃瓶能更有效的抑制啤酒因照光導致的日光臭(異構化的啤酒花成份,MBT)，來自肯亞在啤酒廠工作的同學分享了因為肯亞位於赤道，陽光強烈，當地酒廠的啤酒都是以棕色瓶包裝，以降低運送及銷售時的風味變化，但由於供應鏈的環境不佳，即使棕色啤酒瓶也無法有效抑制 MBT 的生成，導致大多啤酒消費者認定 MBT 為啤酒的標準風味，反而對新鮮且未走味的生啤酒或罐裝啤酒接受度不高。諷刺的是，從歐洲進口的啤酒大都以綠色瓶包裝(如 Heineken)，在外國月亮比較圓的心理下，造就當地消費者認為綠色瓶支的品質優於棕色瓶支的刻板印象，可笑的是，進口啤酒一樣進到傳統供應鏈，迅速走味且富含 MBT 的進口啤酒仍受歡迎。其他在英式啤酒認為是負面氣味的 DMS，具有煮玉米氣味，是 Heineken 啤酒(lager)的訴求風味；而具有奶油味的 Diacetyl，在大多數的 lager 啤酒的生產中被列入負面氣味的來源，但於 Gunniees 啤酒廠服務的同學卻指出，Diacetyl 是 Gunniees 啤酒的主要訴求成份之一，且列入品質管控項目；同時，diacetyl 也是英國精釀啤酒的常見風味，也是威士忌太妃糖風味的來源之一。好風味及壞風味的判別，真的沒有標準答案。

閱讀過威士忌的發展歷史，了解了各時期優質威士忌的定義不斷的再變化，從17世紀以香料或藥草調味“生命之水”，到18~19世紀“純淨”才是王道，以及19~20世紀的橡木桶最低熟成年限要求，直到近幾十年來的橡木桶的過桶工藝。在蘇格蘭的威士忌工業裡，忠於原味的生產工藝，似乎在多變的環境條件下並不怎麼實際。科技的進步(如連續式蒸餾機的發明、先進設備的導入、麥芽廠的興起、微生物學的發展及節能設計)以及環境的變化(如歐洲葡萄根芽蟲的肆虐、雪莉酒的風行、兩次的世界大戰、禁酒令、戰後嬰兒潮、波本威士忌的崛起及橡木桶短缺潮)，都直接或間接的改變蘇格蘭威士忌的風味。就如同教授所強調，無論是啤酒或威士忌，消費者是可以被訓練的、是健忘的，消費者的喜好是可以被操縱的，酒類從業人員僅可力求短期內批次間產品穩定，使大多數的消費者滿意既有產品。(Alan Wholstonholme、Alan Harper、James Bryce 於2015~2016間授課所述)。蘇格蘭威士忌之所以享有如此盛名，推測是集團化的管理以及對消費者口味的操縱，比如近年流行的過桶工藝，其實是橡木桶短缺、橡木桶製作偷工及橡木桶濫用之下，改變消費者喜好的成功範例。所幸如此，南投酒廠因具有

多元化的產品別(如水果酒、紅酒及白蘭地等)，可說具有搭上此順風車的先天優勢。

#### 4. 建議事項

1. 精釀啤酒(craft beer)近十年來在英國的崛起，已衝擊傳統啤酒製造廠，這股熱潮已擴散至歐美，並逐漸蔓延至台灣。身為台灣啤酒領導品牌的我們，似乎要有應對方案。成功的英國精釀啤酒品牌(如Brewdog)，在建廠初期推出高酒花含量的芳香型艾爾啤酒(Ale)，在自己設有的酒吧中強勢導入消費群，快速的成長成跨國啤酒公司。此類型的精釀啤酒用料成本雖較高、小批次的生產成本也高，但產品品質多元、靈活度大且附加價值高。建議公司可利用現有小型釀造設備，釀製此類型啤酒，迅速的開發多種產品別，並以多元化的包裝應市，做為因應精釀啤酒市場崛起的參考方案。
2. 高比重釀造法(high gravity brewing)，可有效擴充產能並節約能源(如洗滌水及電能)，在歐洲已經有許多啤酒廠採用高比重釀造，並成功取代現有傳統製程的產品，但容易有風味變化的風險，需花費較長的時間操縱消費者的口味。建議公司可在下一代新產品的開發前，在開發初期導入，若產品成功則可在未來的生產上顯著的節省能源及人員成本。
3. 南投酒廠威士忌工廠在蒸餾製程中，有部分可再利用的能源未被回收，其中較簡易，且常見於蘇格蘭蒸餾廠的做法是回收蒸餾廢液的熱能。建議可增設廢液回收桶及熱交換裝置，利用粗餾與精餾廢液的熱能來預熱蒸餾進料液，除了可降低能源成本外，亦可減少蒸餾初期的加熱時間，以及降低蒸餾釜內的結垢現象。
4. 蘇格蘭的威士忌倉庫密閉性相當高，盡可能的關窗封門，如cambus倉庫群在儲有萬桶的倉庫裡，僅在底部設有8~12扇換氣窗，及少量的小口徑通風管。甚至有酒廠導覽不帶觀光客到儲酒倉庫的原因是為了減少因為開門所造成的酒液損失。抽樽裝樽的作業大多獨立操作，並不與橡木桶倉庫在同一棟建築，可減少因作業所造成的空氣對流，當然，這可能跟蘇格蘭人的民族性有關。建議未來公司若決定新設橡木桶倉庫，可參考蘇格蘭的儲酒庫設計，但在屋頂設有自動VOC偵測裝置，以在安全無虞的前提下減少酒液損失。
5. 蘇格蘭的威士忌酒廠大多會為自己冠上頭銜，如最高、最冷、最小…等等。本公司酒廠眾多，或許除了標榜不同產品別外，亦可標榜地理環境或歷史等特色，可加強酒廠形象的推廣。部分威士忌蒸餾廠的導覽，付費後除了可品評該廠產品外，亦會贈送折價券或是贈送小容量的袖珍樣品酒，建議公司所屬觀光酒廠可以採用類似方法提升消費者印象，並利用該收入提升軟硬體設備。相較於蘇格蘭蒸餾廠裡將商店裝潢得像精品店，公司觀光酒廠的展售中心確顯老舊。

6. 留學期間於英國參觀過許多觀光工廠，參觀票價大多不便宜(8~20英磅)，但不少觀光工廠有聘請“話劇演員”來擔任導覽人員，穿著戲服帶導覽，以表演的方式進行，並配合現場技術人員或是互動式螢幕，取代傳統的講述型導覽，可給消費者留下非常深刻的印象。由於在台灣此類型的導覽非常少見，若未來本公司有規劃付費的產品體驗館，不仿可考慮一下。
7. 本公司所屬酒廠大多已遷離市中心，公共運輸不方便，或許可學習Glenkinchie蒸餾廠，委託旅遊業者規劃，由公共運輸中心到酒廠的專車套票。於旺季或特殊活動日，帶領消費者遊覽觀光酒廠，並參與酒廠導覽，除了可提升來客數外，還可讓消費者較無負擔的來廠品飲及消費。
8. 感謝公司的支持，給予機會參與本次進修，此程獲益良多。但由於個人背景為化學工程，雖可在工程相關領域有較多的領悟，但在其餘領域略顯不足。建議公司未來可持續派遣各領域的人才出國進修，相信可帶回更多的想法及觀念。
9. 在報帳部分，經費核銷需每日逐筆輸入，建議可增設整批匯入的操作模式，以提升報帳效率。

## 肆、參考資料

林錦淡(1983)酒類釀造技術 台北:華香園出版社

Anness BJ and Reud RJR. (1985) Lipids in wort Journal of the Institute of Brewing 91 313-317.

Bamforth CW (1983) Superoxide dismutase in barley Journal of the Institute of Brewing 89 420-423.

Bamforth CW (1999) Enzymic and non-enzymic oxidation in the brewhouse: A theoretical consideration Journal of the Institute of Brewing 105 237-242.

Bathgate GN (2003) History of the development of whisky distillation. In Whisky technology, production and marketing. Russell I, Stewart G, Bamforth C (ed) pp 1-24. London: Elsevier

Boulton C Quain D (2001) Brewing yeast and fermentation. Oxford: Blackwell Science.

Briggs D (1998). Malts and malting. London: Blackie Academic.

Bringhurst T (2015) 125 th Anniversary Review: Barley research in relation to Scotch whisky production: a journey to new frontiers. Journal of the institute of brewing 121 pp 1-18

Broadbent R and Palmer G (2001). Relationship Between  $\beta$ -amylase Activity, Steeliness, Mealiness, Nitrogen Content and the Nitrogen Fractions of the Barley Grain. Journal of the Institute of Brewing, 107(6), pp.349-354.

Clarkson SP, Large PJ and Bamforth CW (1992) Oxygen-scavenging enzymes in barley and malt and their effects during mashing Journal of the Institute of Brewing 98 111-115.

Campbell I (2003) Yeast and fermentation. In Whisky technology, production and marketing. Russell I, Stewart G, Bamforth C (ed) pp 117-154. London: Elsevier

Cooper DJ, Stewart GG and Bryce JH (2000) Yeast proteolytic activity during high and low gravity

- wort fermentations and its effect on head retention *Journal of the institute of brewing* 106 197-201
- Conner J (2014) Maturation. In *Whisky technology, production and marketing* 2nd. Russell I and Stewart G (ed.) pp 199-220 Elsevier, London
- Dowden J (1903) *Chartulary of the Abbey of Lindores, 1195-1479* (Vol. 42) Printed at the University Press by T. and A. Constable for the Scottish History Society
- Erten H, Tanguler H, Cakrioz H (2007) The effect of pitching rate on fermentation and flavour compounds in high gravity brewing. *J Inst Brew* 113(1): 75-79
- Etokakpan O and Palmer G (1990). Comparative studies of the development of endosperm-degrading enzymes in malting sorghum and barley. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 6(4), pp.408-417.
- Evans DE, Goldsmith M, Redd KS, Nischwitz R and Lentini A (2012) Impact of Mashing Conditions on Extract, Its Fermentability, and the Levels of Wort Free Amino Nitrogen (FAN), beta-Glucan, and Lipids *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 70 39-49.
- Ferrier M (2015) *Combining past and present to create a spirit for Lindores Abbey Distillery* MSc. Heriot-Watt University
- Geddes PA, Raffkin HL (1989) Influence of lactic acid bacteria on aldehyde, ester and higher alcohol formation during Scotch whisky fermentations. In *Distilled beverage flavor*, Piggott JR, Paterson A (ed) pp 93-199. London: Ellis Horwood Ltd, London
- Jaskula-Goiris B, Goiris K, Syryn E, Van Opstaele F, De Rouck G, Aerts G, De Cooman L (2014) The use of hop polyphenols during brewing to improve flavor quality and stability of pilsner beer *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 72 175-183
- Kaukovirtanorja A, Laakso S, Reinikainen P and Olkku J (1993) Lipolytic and oxidative changes of barley lipids during malting and mashing *Journal of the Institute of Brewing* 99 395-403.
- Kobayashi N, Kaneda H, Kano Y and Koshino S (1994) Behavior of lipid hydroperoxides during mashing *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 52 141-145.
- Laluce C, Mattoon JR (1984) Development of rapidly fermenting strains of *Saccharomyces diastaticus* for direct conversion of starch and dextrins to ethanol. *Appl Environ Microbiol* 48(1): 17-25
- Laing A (1876) *Lindores Abbey and it' s Burgh of Newburgh Crawford and M' Cabe, Edinburgh*
- Larson JW (2014) Designing for cleanliness in the distillery. In *Whisky technology, production and marketing* 2nd. Russell I, Stewart G (ed.) pp 299-314. London: Elsevier
- Lewis MJ, Young TW (1995) *Brewing*. Chapman, Hall, London, UK
- Meilgaard M (2001) Effects on flavour of innovations in brewery equipment and processing: A review *Journal of the Institute of Brewing* 107 271-286.
- Muller R (1997) The formation of hydrogen peroxide during oxidation of thiol-containing proteins *Journal of the Institute of Brewing* 103 307-310.
- Munroe JH (2006) Fermentation. In *Handbook of brewing*, Priest FG, Stewart GG (ed) pp 487-524. New York: Taylor & Francis

- Neto H, Yohannan B, Bringhurst T, Brosnan J, Pearson S, Walker J, Walker G (2009) Evaluation of a brazilian fuel alcohol yeast strain for Scotch whisky fermentations. *J Inst Brew* 115: 198-207.
- Nicol DA (2014) Batch distillation. In *Whisky technology, production and marketing* 2nd. Russell I, Stewart G (ed.) pp 155-178. London: Elsevier
- Noël S, Metais N, Bonte S, Bodart E, Peladan F, Dupire S and Collin S (1999b) The use of oxygen 18 in appraising the impact of oxidation process during beer storage *Journal of the Institute of Brewing* 105 269-274.
- Nykänen L, Suomalainen H (1983) *Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverage*. Akademie-verlag, Berlin, German
- Nykänen L, Suomalainen H (1983) *Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverage*. Berlin: Akademie-verlag
- Palmer J (2006) *How to brew* Brewers Publications, Boulder, Colo.
- Palmer G (2006). Barley and malt. In: F. Priest and G. Stewart, ed., *Handbook of brewing*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, pp.139-160.
- Paterson A, Piggott JR (1989) Flavor in Scotch whisky. In *Distilled beverage flavor*. Piggott JR, Paterson A (ed) pp 149-169. Chichester: Ellis Horwood Ltd.
- Priest FG, Stewart GG (2006) *Handbook of brewing*, Taylor & Francis, New York, USA
- Pugh R (1996) Foaming, foam films, antifoaming and defoaming. *Advances in Colloid and Interface Science* 64 pp 67-142
- Puligundla P, Smogrovicova D, Obulam VSR and Ko S (2011) Very high gravity (VHG) ethanolic brewing and fermentation: a research update *Journal of industrial microbiology & biotechnology* 38 1133 - 1144
- Quilter MG, Hurley JC, Lynch FJ, Murphy MG (2003) The production of isoamyl acetate from amyl alcohol by *Saccharomyces cerevisiae*. *J Inst Brew* 109(1): 34-40
- Rees E and Stewart G (1999) Effects of magnesium, calcium and wort oxygenation on the fermentative performance of ale and lager strains fermenting normal and high gravity worts *Journal of the Institute of Brewing* 105 211-218
- Roberts TR and Wilson RJH (2006) Hops In *Handbook of brewing* pp 177 - 279 Eds Priest FG and Stewart GG. Taylor & Francis Group, Boca, Raton
- Russell I (2006) Yeast. In *Handbook of brewing*, Priest FG, Stewart GG (ed) pp 281-332. New York: Taylor & Francis
- Russell I, Stewart G (2014) *Whisky technology, production and marketing* 2nd, Elsevier, London, UK
- Russell I, Stewart G, Bamforth C (2003) (ed) *Whisky technology, production and marketing*, Elsevier, London, UK
- Schwarz P, Stanley P and Solberg S (2002) Activity of lipase during mashing *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 60 107-109.
- Sovrano S, Buiatti S and Anese M (2006) Rapid communication: Influence of malt browning degree

- on lipoxygenase activity Food Chemistry 99 711-717.
- Stephenson WH, Biawa JP, Miracle RE and Bamforth CW (2003) Laboratory-scale studies of the impact of oxygen on mashing Journal of the Institute of Brewing 109 273-283.
- Stewart GG (2010) High-gravity brewing and distilling--past experiences and future prospects Journal of the American Society of Brewing Chemists 68 1-9
- Stewart GG, Hill AE, Russell I (2013) 125th Anniversary review: Developments in brewing and distilling yeast strains. J Inst Brew 119: 202-220
- Takoi K, Itoga Y, Takayanagi J, Kosugi T, Shioi T, Nakamura T, Watari J (2014) Screening of geraniol-rich flavor hop and interesting behavior of  $\beta$ -citronellol during fermentation under various hop-addition timings Journal of the American Society of Brewing Chemists 72 22-29
- van Beek S, Priest F (2002) Evolution of the lactic acid bacterial community during malt whisky fermentation: a Polyphasic study. Appl Environ Microbiol 68: 297-305
- Verstrepen K, Derdelinckx G, Dufour J, Winderickx J, Thevelein J, Pretorius I and Delvaux F (2003) Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer Journal of Bioscience and Bioengineering 96 110-118
- Walker G (2012) Yeast vitality and stress responses : Novel investigative approaches. In Yeast flocculation, vitality, and viability, Speers A (ed) pp 85-95. St. Paul: Master Brewers Association of the Americas
- Walker G, Brosnan J, Bringhurst T, Jack F (2012) Selecting new distilling yeasts for improved fermentation and for sustainability. In: Distilled spirits: Science and sustainability, Walker G, Goodall I, Murray D, Fotheringham R (ed) Nottingham: Nottingham University Press.
- Wanikawa A, Hosoi K, Kato T (2000) Conversion of unsaturated fatty acids to precursors of  $\gamma$ -lactones by lactic acid bacteria during the production of malt whisky. J Am Soc Brew Chem 58(2): 51-56
- Wanikawa A, Yamamoto N, Hosoi K (2004) The influence of brewers' yeast on the quality of malt whisky. In Distilled spirit, Production, technology and innovation, Bryce JH, Piggott JR, Stewart GG (ed) pp 95-101. Nottingham: Nottingham University Press
- Watson DC (2003) Yeasts in distilled alcoholic-beverage production. In The yeast: vol 5, Yeast technology. Rose AH, Harrison JS (ed) pp 215-244. London: Academic press limited
- Wilson N (2012) Contamination: bacteria and wild yeast in a whisky fermentation. In Whisky technology, production and marketing 2nd, Russell I, Stewart G (ed) pp 147-154. London: Elsevier
- Wilson NR, Jack F, Takise I, Priest FG (2010) The effects of lactic acid bacteria on the sensory characteristics of new-make Scotch whisky. In Distilled spirit. Walker GM, Hughes PS (ed) pp 49-52. Nottingham: Nottingham University Press
- Yang G and Schwarz PB (1995) Activity of lipoxygenase isoenzymes during malting and mashing American Society of Brewing Chemists 53 45-49.
- Yomo H, Noguchi Y, Yonezawa T (2008) Effect on new-make spirit character due to the performance

of brewer' s yeast - (I)physiological changes of yeast during propagation and brewing. In Distilled spirit, production, technology and innovation, Bryce JH, Piggott JR, Stewart GG (ed) pp 109-122. Nottingham: Nottingham University Press

Yu J, Huang S, Dong J, Fan W, Liu J, Chang Z, Tian Y, Hao J and Hu S (2014) The influence of LOX-less barley malt on the flavour stability of wort and beer Journal of the Institute of Brewing 120 93-98.

Zufall C and Tyrell T (2008) The influence of heavy metal ions on beer flavour stability Journal of the Institute of Brewing 114 134-142.