

Twistaroma 公司如何應用數據釀造出風味更棒的啤酒？

許多變數會影響啤酒的品質。啤酒的顏色取決於所使用的麥芽，而香氣則取決於發酵的條件。

發酵期間，酵母將糖轉化為乙醇，並釋放二氧化碳。此過程將麥芽汁（未發酵的混合物）與胺基酸轉化為決定啤酒最終風味的芳香化合物。

最近，一釀酒商設立一個重要的商業目標：縮短發酵時間且同時保有啤酒的香氣。該啤酒釀造商轉向新創企業 Twistaroma 公司的負責人—Damien Steyer，該公司的特色是將氣味揮發物與抗氧化劑融入飲品中，以及法國工程學院 CentraleSupélec 的生物技術教授—Behnam Taidi，他們一同合作並分析特定胺基酸濃度如何單獨或共同影響發酵表現和啤酒風味。

挑戰

研究人員必須辨識出對於發酵時間與影響啤酒香氣的揮發物生成，有最大影響的胺基酸。Minitab 的實驗設計 (DOE) 工具協助研究員規劃實驗，以最高效率辨別最重要的因素。實驗設計方法能讓研究員在每次的試驗執行中更改一

個以上的變數。如此降低了獲得有意義結果所需的試驗執行次數，並能獲得因子如何影響反應結果之結論。

Table I. Classification of wort amino acids.*

Group A Fast absorption	Group B Intermediate absorption	Group C Slow absorption	Group D Little or no absorption
Glutamic acid	Valine	Glycine	Proline
Aspartic acid	Methionine	Phenylalanine	
Asparagine	Leucine	Tyrosine	
Glutamine	Isoleucine	Tryptophan	
Serine	Histidine	Alanine	
Threonine		Ammonia	
Lysine			
Arginine			

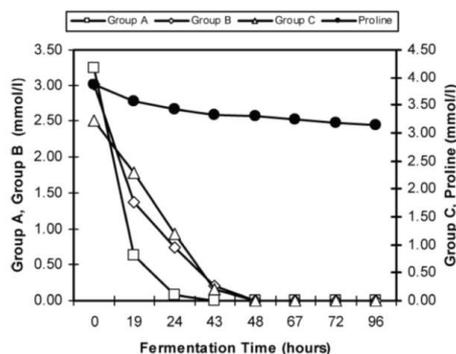


圖 1. 麥芽汁中胺基酸的分類與發酵時間

Minitab 如何協助

研究團隊決定使用 Plackett-Burman 因子設計，該設計能評估 8-47 個不同因子，並確認哪些因子對結果有最大的影響。這種類型的實驗一般稱為「篩選實驗」，因為每一因子的主要效應與二因子



組織

Twistaroma 公司以及法國工程學院 CentraleSupélec 化學工程暨材料實驗室

概述

- Twistaroma 為生技公司，其特色是將氣味揮發物與抗氧化劑融入酒、葡萄酒、香檳、威士忌、啤酒、水果酒或其他飲品
- 化學工程與材料實驗室包含兩個研究領域，亦即製程工程與材料研究。該實驗室進行建模、模擬與實驗。

品質的挑戰

縮短發酵時間且同時保有啤酒的香氣

使用的產品

Minitab® 統計軟體

結果

- 麥芽汁中特定胺基酸濃度影響酵母的發酵速率與風味
- 麥芽汁中的胺基酸濃度取決於大麥品種和麥芽批次
- 釀酒商能選擇較佳的大麥品種且擁有更精確的品質評估方式

交互作用相互交絡。當有多種可能因素時，篩選設計能告訴您哪些因子是重要的，但無法提供重要因子如何交互作用的細節。然而，篩選實驗能協助您，避免執行因子無顯著影響反應結果的非生產性實驗。

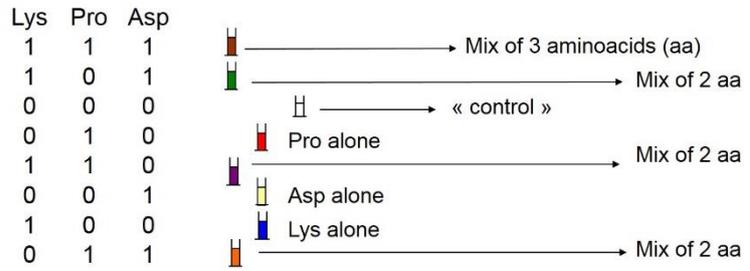


圖 2. 實驗設計矩陣

為了要找出哪些胺基酸濃度對啤酒口味最為重要，研究團隊執行一個含有 24 次試驗的 Plackett-Burman 實驗設計，其中包含一個中心點設計，此為一額外試驗，其所有因子的水準皆設定在最大和最小值中間。爾後，研究者依據設計執行試驗、蒐集數據結果，並紀錄於 Minitab 中用於後續分析。

RunOrder	Glu	Asn	Gln	Ser	Arg	Thr	Lys	Asp	NH3	Val	Met	Ile	Leu	His	Gly	Ala	Trp	Phe	Tyr	Pro	
1	0.9	0.56	0.32	0.94	1.18	0.84	1.2	0.39	1.78	0.96	0.2	1.14	1.11	0.68	0.6	1.2	0.42	1.8	0.62	3.7	
2	0.9	0.56	0.32	0.47	0.59	0.84	1.2	0.39	1.78	1.92	0.4	0.57	2.22	0.34	1.2	2.4	0.42	1.8	1.24	3.7	
3	0.9	1.12	0.32	0.94	0.59	0.42	0.6	0.39	3.58	0.96	0.4	0.57	1.11	0.68	1.2	1.2	0.21	1.8	1.24	3.7	
4	0.45	1.12	0.16	0.47	1.18	0.84	0.6	0.39	3.58	1.92	0.2	1.14	1.11	0.68	1.2	2.4	0.42	1.8	0.62	3.7	
...
18	0.45	1.12	0.32	0.94	1.18	0.84	0.6	0.39	1.78	0.96	0.4	0.57	2.22	0.34	0.6	2.4	0.42	0.9	0.62	7.4	
19	0.45	0.56	0.32	0.84	0.59	0.42	1.2	0.78	1.78	1.92	0.2	1.14	2.22	0.68	1.2	2.4	0.21	0.9	0.62	3.7	
20	0.9	1.12	0.32	0.47	0.59	0.42	0.6	0.78	1.78	1.92	0.2	0.57	2.22	0.68	0.6	1.2	0.42	1.8	0.62	7.4	
21	0.9	0.56	0.32	0.47	1.18	0.84	1.2	0.78	3.58	0.96	0.2	0.57	1.11	0.68	0.6	2.4	0.21	0.9	1.24	7.4	
22	0.675	0.84	0.24	0.705	0.885	0.63	0.9	0.585	2.68	1.44	0.3	0.855	1.665	0.51	0.9	1.8	0.315	1.35	0.93	5.55	
23	0.9	1.12	0.32	0.94	1.18	0.42	0.6	0.39	1.78	1.92	0.2	1.14	1.11	0.34	1.2	2.4	0.21	0.9	1.24	7.4	
24	0.45	0.56	0.32	0.84	0.59	0.84	0.6	0.78	3.58	1.92	0.4	1.14	1.11	0.34	0.6	1.2	0.42	0.9	1.24	3.7	
25	0.45	0.56	0.16	0.47	0.59	0.42	0.6	0.39	1.78	0.96	0.2	0.57	1.11	0.34	0.6	1.2	0.21	0.9	0.62	3.7	

圖 3. 實驗運行

當使用 Minitab 進行實驗設計分析，其產出結果涵蓋視覺化圖形—柏拉圖，協助您解讀分析結果。從大到小排序的長條圖顯示出哪些因子構成「重要的少數」而哪些是「瑣碎的多數」。累積百分比線協助您判斷每個因子的增加貢獻。任一超出該線的效應具統計上的顯著性。下圖顯示 Lysine 胺基酸濃度對於發酵時間具有顯著影響。

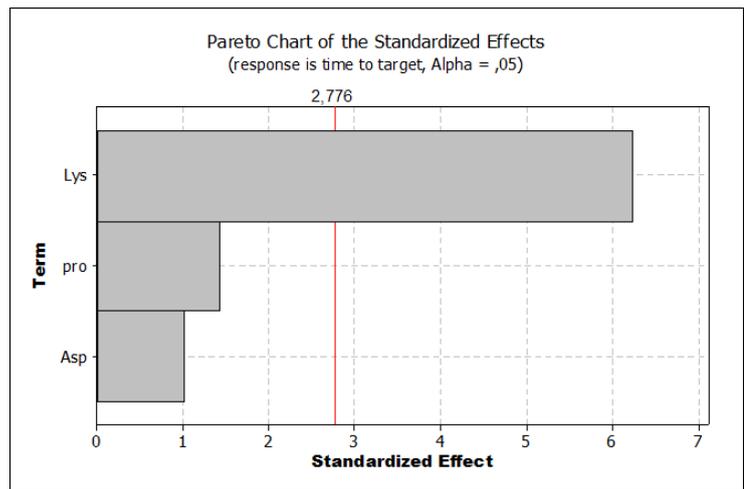


圖 4. 柏拉圖顯示三種胺基酸對反應時間的影響

當分析實驗的結果時，Lysine 胺基酸似乎是具有影響性的胺基酸。依數據所建立的迴歸模型顯示 90% 的 R 平方，這表示該模型的胺基酸能解釋發酵時間的 90% 變異。

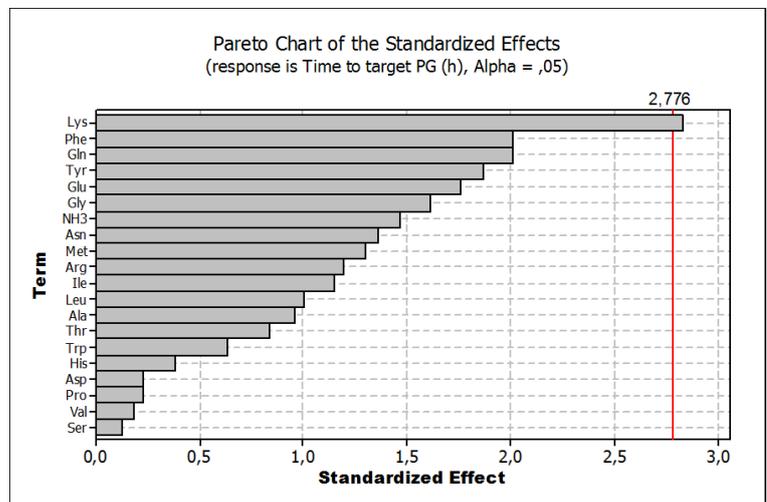


圖 5. 標準化作用

為了改善研究結果，該團隊執行額外的分析以研究因子間的交互作用、並更全面的為發酵時間與胺基酸濃度之間的關係建立模型。Steyer 與 Taidi 使用 Minitab 的逐步迴歸分析工具，由於他們明白 Lysine 胺基酸的顯著性，因此設定 Minitab 在每一模型中皆保留此一因子。接著，Minitab 便逐一去除或增加剩餘的每項胺基酸以自動篩選模型，這使研究員能鑑定交互作用並確認具顯著影響的胺基酸組合。藉由在步驟中添加最顯著的變數或移除最不顯著的變數，此一過程系統性地辨識出有效的預測因子之子集。

Minitab 提供三種常見的程序。標準逐步迴歸 (Standard stepwise regression) 在每一步驟中增加或移除預測因子；向前選取法 (Forward selection) 在模型一開始不包含預測因子，而 Minitab 在每一步驟中添加最具顯著影響的變數。向後刪除法 (Backwards elimination) 則是模型一開始包含全部的預測因子，而 Minitab 在每一步驟中移除最不顯著的變數。

若是選擇標準逐步迴歸，您在模型對話框的設定項便為最終模型的候選項，例如：

Minitab 在迴歸分析的產出報表中，提供方程式來計算最具影響力的胺基酸濃度要達成發酵所需的時間。研究團隊亦使用相同的方法來判斷胺基

酸對於影響啤酒風味之揮發物生成的影響。

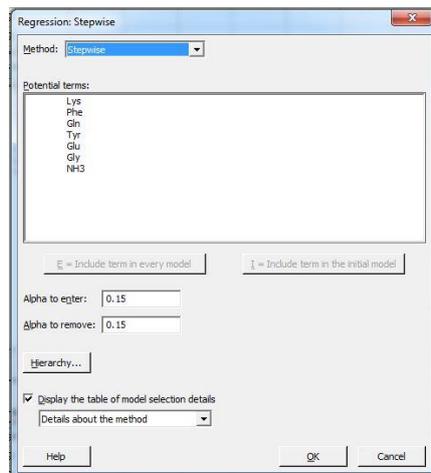
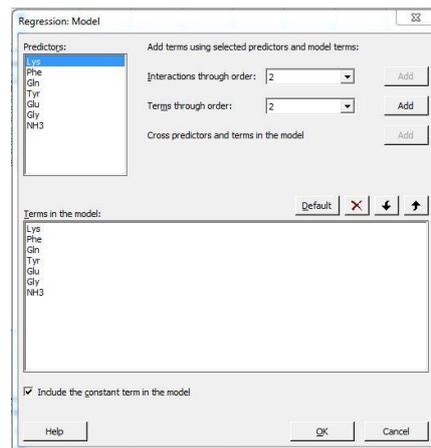
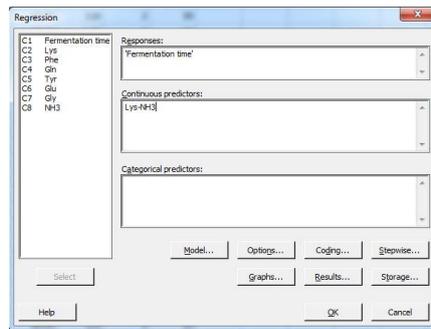
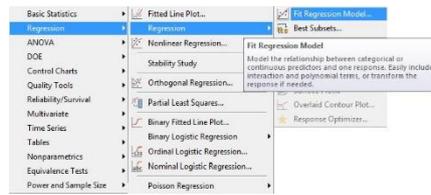


圖 6. Minitab 的逐步迴歸模型對話框

結果

透過 Minitab 的實驗設計與逐步迴歸分析，研究團隊確立哪些胺基酸能影響發酵時間與揮發性化合物的生成。他們的實驗結果發現，將 Lysine 胺基酸濃度加倍能縮短發酵時間並影響某些揮發物的生成。添加其他特定的胺基酸也能縮短發酵時間，但會改變啤酒香氣。

由於麥芽汁中的胺基酸濃度與構成麥芽汁的穀物有關，因此該分析的結果將有助於釀酒商根據胺基酸濃度選擇最佳的大麥品種。

現在釀酒商應用科學的方法來解決啤酒的設計生產。多虧了有效率的數據分析，釀酒商能夠同時滿足生產的限制與合乎消費者的期待。▶