

酵母影响啤酒的酒花特性

最近的研究揭示了不同的酵母菌株如何通过特定的酒花衍生风味化合物相互作用来影响风味和香气，这一过程称为生物转化作用。来自酒花的非芳香化合物被酵母酶转化，从而在啤酒中释放出芳香风味化合物。已知某些酵母菌株具有更高水平的与生物转化相关的酶活性，包括 **-葡萄糖苷酶** 和 **-裂解酶**。

-葡萄糖苷酶 活性能让芳香萜烯（和葡萄糖分子）从非芳香萜糖苷中释放出来（图 1）。**萜烯** 可以产生不同的风味影响（柑橘、花香），更水平的萜烯与更高的整体酒花香气强度 (OHA) 相关。

-裂解酶 活性能释放称为硫醇的挥发性硫化物（图 2），它们通常与热带水果香气有关，并且风味阈值非常低。

-葡萄糖苷酶 和 **-裂解酶** 的特异性酶活性已在所有 LalBrew® 优质酵母中进行了表征（图 3）。有了这些数据，酿酒商就可以选择最佳菌株来促进生物转化。Lallemand Brewing 拉曼酿酒事业部走在酒花风味和香气研究的前沿，我们随时准备帮助解决有关酿造酒花风格的任何问题。

-葡萄糖苷酶

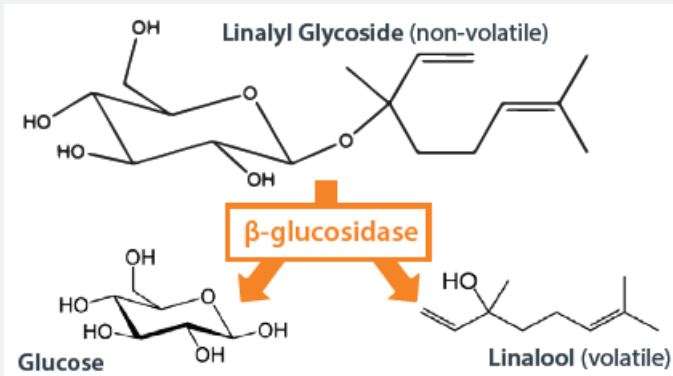


图1. **-葡萄糖苷酶** 反应机制。在这个例子中，芳樟醇（里那醇，一种芳香萜烯）和一个葡萄糖分子从非芳香萜糖苷中释放出来。

-裂解酶

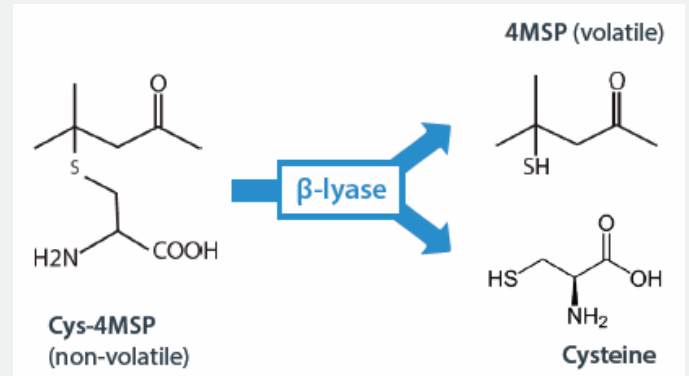


图2. **-裂解酶** 反应机制。在本例中，4MSP（芳香族硫醇）和半胱氨酸从非芳香族半胱氨酸前体中释放出来。

LalBrew® 高端酵母系列中生物转化活性比较

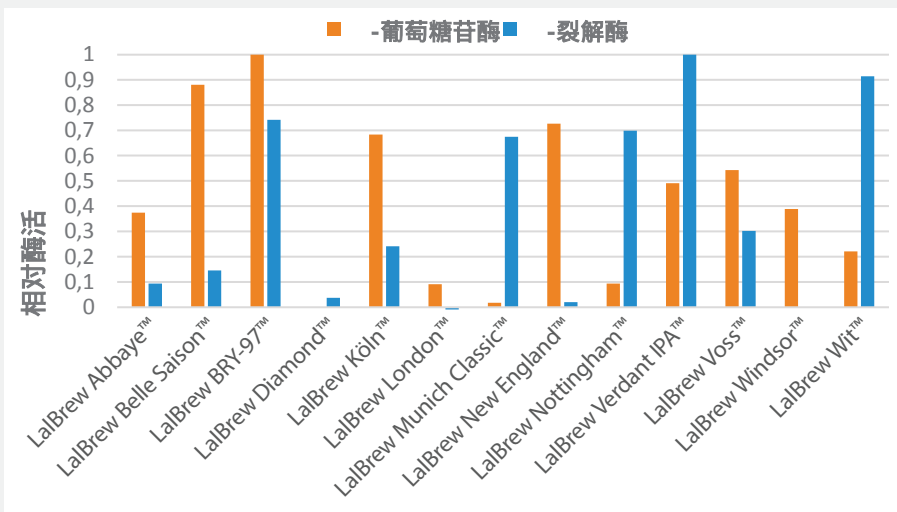


图 3. LalBrew® 高端酵母系列菌株中β-葡萄糖苷酶和β-裂解酶的相对生物转化活性。使用标准化学糖苷底物来测量 β-葡萄糖苷酶活性。β-裂解酶活性是通过在包含活性巯基前体的选择性培养基的生长来测量的，相关酶活在图中进行对比，但是 β-葡萄糖苷酶和β-裂解酶的活性不能进行互比较。

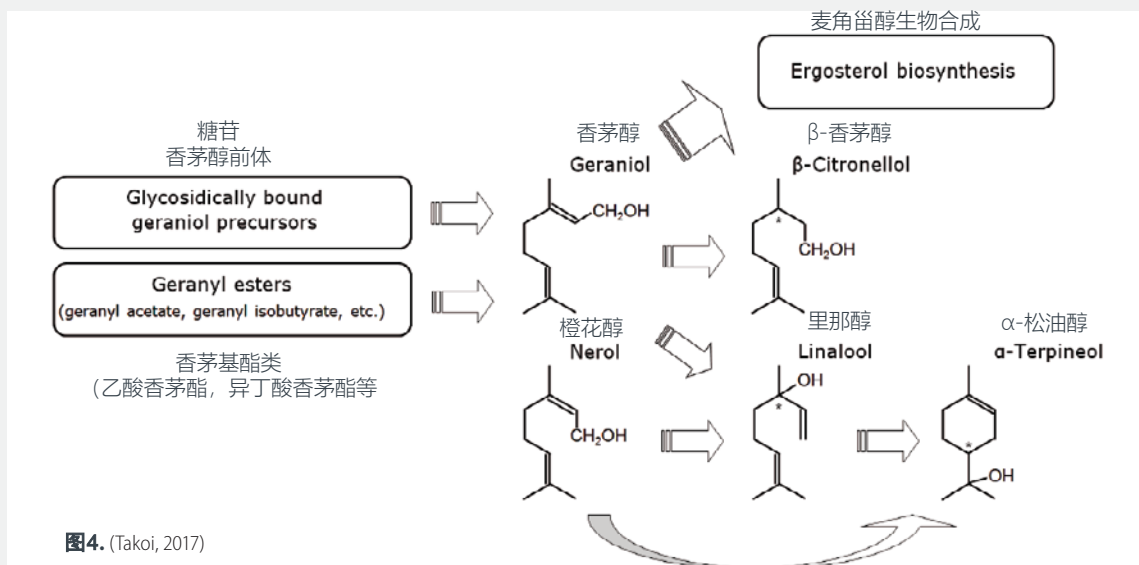
* LalBrew London™ 没有发现 **-裂解酶** 活性。

复杂的生物转化关系和二次相互效应

酵母代谢过程是复杂的。分别由 α -葡萄糖苷酶和 β -裂解酶释放的芳香萜烯和硫醇可以进一步被酵母转化为具有不同风味特征的其他化合物，从而增加成品啤酒风味的复杂性（图4）。成品啤酒的整体香气取决于挥发物的总量以及萜烯和硫醇化合物的多样性和相对组成。酒花中萜烯糖苷或硫醇前体的含量也会因生产商、收获年份和储存时间而异。此外，二次相互效应可能会通过非酶促过程影响成品啤酒的香气特征：

- **CO₂ 洗出效应** – 在具有活力的发酵过程中会损失芳香类化合物
- **掩盖效应** – 发酵产物（酯类或者醇类）会掩盖酒花油香气
- **吸附效应** – 酒花油会吸附在酵母细胞壁上随着酵母的沉降和过滤而损失

通过酵母产生单萜醇的生物转化作用途径



优化生物转化

由于酒花品种之间的差异、酵母代谢的复杂性和其他二次相互效应，有必要通过优化酿造过程来获得生物转化最大化。在优化生物转化时，请考虑以下事项：

1. 在活跃发酵过程中干投酒花，此时酵母酶最活跃。发酵过程中的对流将有助于混合酒花，较高的发酵温度和酒精的存在会使得酒花化合物的提取率更高。此时氧气吸收会减少，因为O₂ 被产生的 CO₂ 洗出。
2. 发酵早期干投酒花会使得前体的提取量更大。
3. 发酵后期的干投酒花将最大限度地减少因 CO₂ 洗出而带来的挥发物损失。

文献参考:

- Sharp, Daniel; Vollmer, Dan and Shellhammer, Thomas. Understanding how to control flavor and aroma consistency in dry hopped beer. Presentation at the Craft Brewers Conference 2015 (Portland, OR)
- Sharp, Daniel and Shellhammer, Thomas. Recent advances in controlling flavor and aroma in hoppy beers. Presentation at the Craft Brewers Conference 2016 (Philadelphia, PA)
- Takoi, Kiyoshi. (2017). Systematic Analysis of Behaviour of Hop-Derived Monoterpene Alcohols During Fermentation and New Classification of Geraniol-Rich Flavour Hops. BrewingScience. 70. 177-186