

廢棄物類

啤酒渣與蒸餾酒渣特性分析與再利用

陳偉聖*、陳俞安**

摘 要

釀酒渣是酒精飲品生產的副產品，富含纖維素及蛋白質，為一種極具再利用可能性的廢棄物。台灣主要產出啤酒渣與蒸餾酒渣 2 種釀酒渣，釀酒渣的再利用方式有很多種，台灣大部分釀酒渣都是進行堆肥處理及做成動物飼料，浪費了許多釀酒渣內可利用的其他成分。本文分析了釀酒渣的特性以及各種再利用方式的關係，並且分別為啤酒渣與蒸餾酒渣設計了一套可以完全利用酒渣內所有資源的再利用流程；為了能夠執行這套流程，建議進行溫和的酚類化合物及木質素的萃取方式研究，來達到真正零廢棄的目標。

【關鍵字】釀酒渣再利用、啤酒渣、蒸餾酒渣

* 國立成功大學資源系 副教授

** 國立成功大學資源系 研究生

一、前言

釀酒渣，一種釀酒業所產生的大量的副產品之一，亦可稱為酒糟、酒釀、酒粕，其量占了總釀酒業副產品的 85%(Mussatto, 2014)。酒精飲品為現代人最愛飲品之一，據世界衛生組織統計，人類 1 年約喝下 467 億公升的純酒精(Organization, World Health, 2018)。隨著龐大需求量及製造量，所產生的釀酒渣量也是相當可觀，研究指出每生產 100 公升的啤酒就會產生 20 公斤的釀酒渣，約莫原料的 31% 經過製酒程序都會變成酒渣(Buffington, 2019)。釀酒渣為製酒時的副產品，釀酒過程中糖類經由微生物進行酒精發酵，產生乙醇後製成酒精類飲品，其所剩餘的副產物即為釀酒渣(Mussatto, 2006)，而釀酒渣依照生產的酒類不同而會有不同的類型，主要常見的釀酒渣類型有：啤酒渣(Brewers' spent grains)、蒸餾渣(Distillers grains)、果酒渣(winery waste)，不同釀酒渣類型的特性與組成都不相同，資源化的方式也有差異。

釀酒渣主要組成包含纖維素、半纖維素、木質素、蛋白質(del Río, 2013)，纖維素及蛋白質可利用價值極高，目前大部分釀酒渣都做堆肥處理或製成畜牧飼料(Ovanka levic, 2010)，蛋白質與纖維素為人類飲食中主要營養成份之一，使用這種材料對提高糧食營養價值非常有吸引力，因此也越來越多釀酒渣用於人類保健食品的研究產出(Lynch, 2016)；此外，也有研究探討釀酒渣的其他高價值資源化應用，例如利用釀酒渣製造活性碳吸附材料(Mussatto, 2010)、從釀酒渣萃取酚類抗氧化劑等等(Meneses, 2019)，研究數量眾多顯示釀酒渣是極具回收效益及發展潛力的廢棄資源。

台灣的酒精飲品生產以啤酒及蒸餾酒為主，啤酒與蒸餾酒在發酵過程上類似，與果酒渣不同的地方在於，製造啤酒與蒸餾酒的原料以穀物為主，穀物需要先經由澱粉酶進行糖化(mashing)後，才能進行酒精發酵(Ryan, 2014)。而果酒含有糖分因此可以直接進行發酵。據統計，2017 年台灣產出了 140,134 公噸的釀酒渣(行政院環保署, 2017)，其中的釀酒渣種類可以從生產的酒類推斷，台灣酒類生產量見表 1，表中顯示啤酒與蒸餾酒的產量佔了總國產酒產量的 97.79%(財政部國庫署, 2018)，因此可以判斷台灣產生之釀酒渣種類為啤酒渣及蒸餾渣為大宗。

表 1 台灣不同國產酒生產量與比例

	蒸餾酒	啤酒	水果釀造酒	一般料理酒	其他酒類
2018 年生產量 (公升)	410,583,910	1,828,755,630	14,608,740	12,107,590	23,998,990
比例(%)	17.93	79.86	0.64	0.53	1.05

資料來源：財政部國庫署，2018

本文著重在台灣 2 個酒精產業的廢棄物進行特性討論，並且分析釀酒渣目前的再利用方式，之後由啤酒渣及蒸餾酒渣的特性差異來討論，哪種再利用方式最適合用在這 2 種釀酒渣或多種再利用的組合方式，並提出未來可行之辦法，來達到釀酒渣完整再利用與減少資源的浪費。

二、釀酒渣的特性分析

酒精飲品的種類非常多種，使用不同的原料及釀酒程序都會生產出不同的酒類，即便使用相同原料，不同的釀造程序都會影響最終產物的差異，因此釀酒渣的種類非常繁多，經本研究歸類各項研究成果，主要可分為啤酒渣、蒸餾酒渣、果酒渣 3 種，以下對 3 種釀酒渣的特性做分析，並進行啤酒渣與蒸餾酒渣的特性比較。

2.1 啤酒渣

啤酒渣為生產啤酒時的副產品，而主要用作啤酒生產的原料為大麥，影響啤酒渣組成最大的因素為原料大麥的成分，其次是釀酒工序的使用。大麥籽粒 (barely grain)是一種淺黃色、豐滿、薄殼、硬度適中的穀物，非常適合用作食品用途 (Arendt, 2013)。大麥穀粒顏色可以從淺黃、深藍、一直到黑色都有，主要影響穀粒顏色是表面的抗氧化性及殼層花青素 (anthocyanins) 的含量 (Nam SH, 2006)，而具有明亮的淺黃外殼及較軟的外殼硬度，是最適合用作啤酒釀造的類型 (Psota V, 2007)。

大麥穀粒由 65~68% 的澱粉、10~17% 的蛋白質、4~9% 的纖維、2~3% 脂質、1~2% 的礦物質所組成(w/w)(Czuchajowska Z, 1998)(Izydorczyk MS, 2000)(Mahesh Gupta, 2010)，穀粒由外而內的構造分別為：殼、果皮層及胚(endosperm)(Lynch, 2016)。釀造第一步是將大麥穀粒浸泡在水中，藉由大麥的自體發芽促使內部的澱粉酶，將胚內的澱粉降解成多醣化合物，像是麥芽糖及糊精。下一步是反覆用熱水溶解多醣及剩餘澱粉，所形成的糖水被稱為麥汁(wort)。麥汁再經由酵母發酵後即可得到產物啤酒(Pomeranz Y, 1976)。剩餘那些無法糖化及發酵的部分，會在熱水溶解多醣時後被挑出，而這就是所謂的啤酒渣(Mahesh Gupta, 2010)。

啤酒渣由種皮、果皮層及殼等無法糖化部分的剩餘物，主要化學組成為葡聚糖(glucan)(纖維素、澱粉)、半纖維素、木質素、脂質、蛋白質及其他物質(礦物等)(Aliyu S, 2011)，大麥內的澱粉都被糖化及發酵成了酒精，剩餘澱粉只占啤酒渣的 5% 左右(Farcas, A., 2013)，不同地區所產生之啤酒渣組成比例都不相同，造成不同啤酒渣成分上差異有幾項因素，如：大麥種類、熟成程度、糖化程度及其他輔料添加(Steiner, J. 2015)，表 2 為整理各研究對啤酒渣組成的比較，由此可見釀酒程序對於啤酒渣組成比例會造成很大影響，但每個參考文獻中，葡聚糖 + 半纖維素 + 木質素的占比，都占了整個啤酒渣的 50%(v/v)以上，說明啤酒渣是種木質纖維物質(lignocellulosic)(Boudet, 2003)。木質纖維物質是一種具有再生能源發展潛力的物質，近年來許多研究致力於將再生能源取代傳統化石能源的方式(Isikgor, F., 2015)。

其他有機廢棄物像是咖啡渣，也是具有回收效益的木質纖維物質的一種，但是與啤酒渣相比，啤酒渣有著更高的再利用價值，原因為咖啡渣主要由半纖維素組成，占了總質量的 39%(Ballesteros, L., 2014)，半纖維素是一種異質多聚體，相對於纖維素，半纖維素屬於非結晶性結構，較不穩定且容易水解成單醣(Peng, 2014)，因此在應用層面上不如纖維素的表現，而啤酒渣的半纖維素只占了總體積 15~35% 左右，是屬於半纖維素占比較少的廢棄物，所以在作為再生飼料上有更好的優勢。總結來說，啤酒渣作為一種木質纖維物質，它的組成成分在資源化利用上更具有多元性發展，是值得開發應用的廢棄物。

表 2 啤酒渣之化學組成 (單位：v/v%)

	Meneses, N. 2019	Zhang, J. 2016	Cláudia 2018	P.C. 2019	Edro E. 2017
葡聚糖	21.7	21.2	17.5	17.9	23.1
半纖維素	19.3	28.3	16.5	35.7	22.9
(木聚糖)	13.6	nd	10.3	31.4	15.5
(阿拉伯聚糖)	5.6	nd	6.2	4.3	7.4
木質素	19.4	12.8	27.0	17.8	19.0
蛋白質	24.7	18.7	19.2	19.2	15.1
灰份	4.2	nd	2.9	3.9	3.5
其他	10.7	nd	16.9	5.5	16.4

2.2 蒸餾酒渣

蒸餾酒的種類非常多種，西方有威士忌、白蘭地、伏特加等蒸餾酒，東方有高粱酒、白酒等，威士忌及白蘭地釀造方式是由啤酒酒液及果酒酒液進行蒸餾而成，酒渣的部分在產生啤酒及果酒時就被去除，不參與後續蒸餾程序，因此這種蒸餾渣可視為跟啤酒渣與果酒渣組成與特性類似(Ryan, 2014)。而東方的蒸餾酒，像是台灣的高粱酒及中國的白酒，在釀造的過程不同，酒渣會經歷蒸餾程序及再度發酵等階段，導致產生不同於啤酒渣類型的釀酒渣，這種釀酒渣組成與特性都與啤酒渣相異，也會有不同的資源化方式，因此本研究探討之蒸餾渣主要為這種東方酒業所產生的酒渣類型，以下文中提到之蒸餾酒渣皆為此類型。

東方酒業最著名的就是中國的白酒，台灣著名的高粱酒也屬於白酒的一種，白酒主要的原料有高粱、大米、玉米等糧食穀物，其中就以高粱為最大宗(Xiao-Wei Zheng, 2016)。高粱的組成與玉米類似，由 42.07~68.12% 澱粉、10.3~15.6% 蛋白質、3.6~5.2% 脂質、11.1~13.4% 水、1.5~2.7% 纖維所組成(v/v)，結構與大麥類似，由殼、果皮、胚所組成，其中有 95% 澱粉都存在於胚中。此外高粱的果皮內含有單寧(tannins)，單寧為高分子之酚類化合物，含量越高會使高粱外表顏色越深，可分為白高粱、黃高粱、紅高粱，而白酒釀造主要是使用白高粱及紅高粱釀造(J. S. Wall, 1969)。

白酒釀酒原理同樣是將高粱內的澱粉經由澱粉酶分解成低分子醣類，再經由酵母將醣類發酵成酒精，但是執行手法與啤酒不太相同，啤酒依靠的是大麥自體發芽糖化後，酵母在液態中進行發酵，而白酒釀造則是藉由添加酒麴來同時進行糖化及固態發酵步驟(Huilin Liu, 2018)。酒麴是一種富有各種微生物的穀物，主要原料為小麥，製造方法為將小麥添加水分及暴露空氣，來促使微生物的生長，最後烘乾後得到酒麴(Zheng, X., 2011)。

白酒釀造程序可分為以下步驟：蒸煮→拌麴→發酵→蒸餾→熟成，蒸煮為將高粱澱粉糊化的步驟，拌麴為將高粱與酒麴以固定比例混合，發酵為高粱經由酒麴內微生物作用同時進行糖化及發酵，蒸餾為將酒精富集提升濃度的程序(Guangyuan Jin, 2017)。此外，白酒生產者為了充分使用高粱內的澱粉，會將高粱進行多次的發酵與蒸餾，也就是經一次蒸餾完的酒渣，會重新進行拌麴、發酵、蒸餾，這些步驟可能會重複 2~3 次，而在第 2、3 次蒸餾時，會額外拌入粗糠來增加酒渣間通氣性來確保有效蒸餾(Xiao-Wei Zheng, 2016)，經過多次發酵與蒸餾後，剩餘的殘留物就是白酒蒸餾渣。

白酒蒸餾的組成受到發酵與蒸餾次數及拌入的稻殼量所影響，成分比較見表 3 所示。由表中可看出，經過越多次的發酵蒸餾，蒸餾渣內的粗蛋白與膳食纖維含量出現越來越高的趨勢，原因為越多次的發酵會使殘餘的澱粉量減少，造成總碳水化合物下降，進而導致其他成分如粗蛋白、粗纖維的量會相對提高，而稻殼的拌入同時也會增加粗纖維的含量，以外存在於果皮的單寧也會留存於蒸餾渣中，這些組成都會影響後續白酒蒸餾渣的再利用(黃子軒, 2016)。

表 3 3 種蒸餾酒渣基本成分組成 (單位：v/v%)

A: 第一次發酵蒸餾酒渣 B: 第二次發酵蒸餾酒渣 C: 第三次發酵蒸餾酒渣

樣本	含水量	灰份	粗脂肪	粗蛋白	粗纖維	總碳水化合物
A	8.05	1.77	3.80	13.35	16.96	73.03
B	7.16	3.10	5.41	19.24	21.59	64.65
C	6.00	4.03	6.04	20.99	27.12	62.94

資料來源：黃子軒，2016

白酒蒸餾渣雖然經過多次的發酵與蒸餾程序，但是因為固態發酵效率較低及高粱抗性澱粉較多，蒸餾渣內有 22~23% 的澱粉含量，高澱粉量使白酒蒸餾渣更適合用於生質乙醇的生產(Mei Ying Su, 2010)。因為有稻殼的添加以及單寧造成的苦、澀氣味，使得白酒蒸餾渣可用在牛、羊等食草動物飼料取代，但較不適合用在其他像是豬、雞的飼養(Valérie Heuzé, 2015)。

2.3 果酒渣

市面上最常見的水果酒為葡萄酒，而葡萄酒主要分為白酒及紅酒 2 種，2 種酒類的差異在於製造程序的不同。以紅酒為例，製程為原料葡萄榨汁後，將剩餘果皮及果汁一同進行發酵，之後得到產品；而白酒則是在榨汁之後，單獨由果汁進行發酵而得到產品(Ryan, 2014)。2 種葡萄酒所產生之果酒渣會不同，紅酒渣為經過發酵的果皮殘留物，而白酒渣則是不經過發酵的，因此 2 種果酒渣特性上就會有一定的不同。

以下摘要比較 2 種果酒渣的主要差異(Toscano, 2013)：

1. 白酒渣：主要組成為原料的莖、果皮、種子部分，且沒有經歷過發酵程序，含有相對較多的糖分及纖維素。
2. 紅酒渣：由於發酵前會先去除掉較難發酵的莖的部分，主要的組成為原料的果皮、種子部分，且有經歷過發酵程序，造成剩餘糖分發酵為酒精，含有相對較少的糖分及纖維素。

2.4 特性比較

台灣酒類飲品產業以啤酒及蒸餾酒兩者為主，所產生之釀酒渣也以啤酒渣及蒸餾酒渣為最大宗，不同的特性會影響後續再利用的方式，本文比較啤酒渣及蒸餾酒渣的不同之處，如表 4。

表 4 啤酒渣與蒸餾酒渣特性比較

比較 \ 種類	啤酒渣	蒸餾酒渣
原料	大麥	高粱
產生方式	原料經由自體的發芽糖化後，所剩餘的固體殘留物	原料經由酒麴添加，進行重複的糖化、發酵和稻殼的添加後，所剩餘的固體殘留物
組成	纖維素較少，組成變化性較低	纖維素較多，組成變化性較高
組成變化因素	原料種類	原料種類，糖化、發酵次數，稻殼添加種類

由表 4 可看出，啤酒渣的纖維素含量較少，但因為組成主要受到原料種類影響，因此組成的變化性較小，能夠穩定的使用在後續再利用程序上。而蒸餾酒渣因為有稻殼的拌入，因此會造成纖維素的含量增加，可以提高再利用的價值，但是因為組成變化因素多，因此進行資源化前必須先對蒸餾酒渣做好特性分析，才能決定最適合的再利用進行方式。釀酒渣的再利用方式有非常多種，各種再利用方式都可能使用了釀酒渣中特定的成分，因此組成成分與再利用方式將會是息息相關，接下來將分析啤酒渣與蒸餾酒渣的再利用方式。

三、釀酒渣的再利用方式

本文分析啤酒渣及蒸餾酒渣的各種再利用方式，並參考國內、外的釀酒渣資源化技術，依照圖 1 之生物質階梯，從低值到高值再生方式進行討論，將會討論能源提供、堆肥化再利用、活性碳再利用、動物飼料再利用、糧食再利用、生技產品再利用等類型。

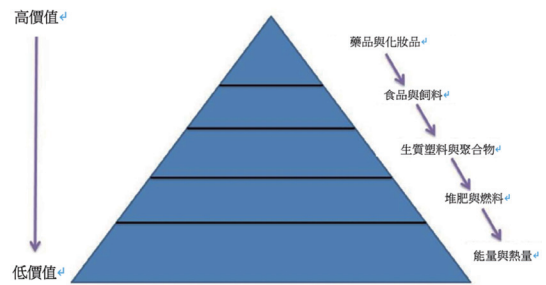


圖 1 生物質階梯

資料來源：Buffington J，2014

3.1 能源提供

將釀酒渣作為能源使用的方式包括直接燃燒及經由微生物的發酵產生沼氣進行再生能源利用(Mussatto, 2006)，這 2 種再利用方式產物價值較低，但是處理量最大，對於解決廢棄物的問題能夠提供最大幫助。

直接燃燒既簡單又快速，但是釀酒渣並不適合進行直接燃燒，因為釀酒渣的含水率太高，要燃燒前必須花費大量能量進行處理，而釀酒渣的低位發熱量僅有 17.2 MJ/kg(Azevedo Borges, 2015)，不到汽油(43.4 MJ/kg)的一半(Engineering ToolBox, 2003)，且釀酒渣含有脂質及蛋白質，燃燒時會產生有毒的二氧化硫及氮氣(Keller-Reinspach, 1989)，在處理及發熱效率上都不符合成本效益。

木質纖維素是一種很常用做再生能源原料的物質，為藉由微生物及澱粉酶的作用，將纖維素與半纖維素水解、發酵後，產生生質乙醇(Nigam, 2017)。而在水解過程中，過多的木質素含量會阻礙酶對纖維素的作用，因此去除木質素是一道很重要的前處理步驟。去除木質素的方式有很多種如：熱解、酸水解、鹼水解等(Carvalho, 2008)，而在前處理的同時，還要確保纖維素不會被同時水解，因此必須在纖維素不被水解的情況下，盡可能地去除木質素，才會得到優良的再生能源原料。纖維素的水解必須使用高度專一性的酶來進行，水解產物通常是還原糖，包括葡萄糖，可以使用厭氧或好氧的細菌或真菌來執行(Ye Sun, 2002)，由於厭氧菌生長速度低且生存條件較嚴苛，因此大多商業的纖維素酶生產都集中在真菌上(Duff, S. J. B., 1996)。

啤酒渣是一種木質纖維素物質，且富含纖維素及半纖維素，非常適合用在生產生質乙醇及丁醇，但是 20% 左右的木質素含量對於纖維素水解是一項相當大的阻礙，因此木質素的前處理就顯得相當重要。另一項難題，則是啤酒渣的半纖維素占了大部分的成分比例，因此在選用木質素前處理方法時，必須避免使用高溫、高酸、高鹼的方式，如此才能保護半纖維素的降解，這是目前所要面對的主要問題之一(Pedro E. Plaza, 2017)。

蒸餾酒渣在製程時有稻殼的混入及澱粉部分發酵，因此擁有較多的纖維素及澱粉含量殘留，能夠發酵產生生質氣的產氣量更多。雖然蒸餾酒渣的成分豐富，但是剛出

產的酒渣酸度高，直接使用會導致產氣效率降低，Mei Ying Su 等人，使用高粱酒渣進行不同 pH 情況下產氣效率的變化，得到最好的方式是，先將酒渣的 pH 值調整到 7 再進行水解，能夠得到最大的產氣量(Mei Ying Su, 2010)。不同來源的蒸餾酒渣也會造成產氣效率的差異，付善飛等人，研究不同種類型白酒所產生之蒸餾酒渣進行發酵，得到的結論是總產氣量跟總碳水量有關，而產氣效率則是跟澱粉殘留量有關，且產氣後的蒸餾酒渣依然符合液態肥料，因此後續還可進行堆肥處理(付善飛, 2014)

3.2 堆肥再利用

堆肥是一種好氧、需要微生物的固態發酵過程，透過堆肥過程可將不同有機物轉化為肥料、土壤改質劑。堆肥有 4 個重要的元素：碳、氮、氧、水；一般而言，堆肥原料的碳氮比要在 20~35 之間，含水量要介於 50~60%(w/w)(Sánchez, Ó., 2017)。

啤酒渣與蒸餾渣內含有豐富的蛋白質，碳氮比約只有 12~17，因此它們被視為一種良好氮源(Zang, 2015)，但是酒渣內的磷、鉀、鈣、鎂的含量非常少，因此不能當作植物的微量營養素的主要補充來源(Crosier, 2014)。而剛產出時的酒渣含水率大約是 80%(Thiago Rocha dos Santos Mathias, 2015)，為了堆肥的進行及減少運送成本，都需要先減低含水量，堆肥前再加入其他農業副產品來提高碳氮比，即可進行堆肥。

3.3 活性碳再利用

堆肥屬於釀酒渣中氮資源的再利用方式，而活性碳製造則是碳資源的再利用方式，活性碳是工業上常用的產物分離、純化及處理液體、氣體內污染物的吸附劑，藉由調整表面多孔分布及表面特行，可達到多樣化的應用(MONTANE, 2005)，而木質素是作為活性碳製造良好的原料，可以經由物理或化學的方式轉化為活性碳，且使用化學方式更有效率，因為它可所需的活化溫度更低，所以可提高產物經濟效率(Guo, Y., 2007)。

釀酒渣是種木質纖維物質，木質素的佔比約為 20%(v/v)，很適合作為活性碳的製造，Mussatto 等人，將啤酒渣內的木質素以鹼洗出、沈澱後，再跟磷酸以 1:3 重量比混合，並以 600°C 進行碳化，得到的活性碳經測試可作為鎳、鐵、鉻、砷的吸附劑，

且吸附效果與商業用的功效相當(Mussatto, 2010)。

3.4 動物飼料再利用

將釀酒渣替代動物飼料是國外最普遍的釀酒渣應用方式，因為它富含了蛋白質及纖維素，對於動物來說是一種很好營養來源。

啤酒渣約有 20% 的蛋白質及 70% 的碳水化合物(v/v)，因為具有高蛋白質的含量且可提供反芻動物所需的氨基酸，因此很適合用在牛、羊的飼養(Sana Ikram, 2017)，文獻指出啤酒渣可以替代 30% 的幼牛飼料(w/w)(Senthil Murugan S, 2014)，且用在乳牛的替代飼料時，由於啤酒渣中不飽和脂肪酸含量較多，因此可提高產奶的效率而增加生產者經濟回報(Andressa Faccenda, 2017)。另有研究指出，啤酒渣也非常適合用在魚飼料替代，根據(M. Jayant, 2018)的研究，啤酒渣可替代條紋鯰魚(striped catfish)的飼料高達 50%(w/w)，且可減少 27.56% 的成本。美國芝加哥的 PLANT CHICAGO 是個循環經濟的示範園區，他們使用了園區內啤酒廠的酒渣進行吳郭魚的養殖，使用了 33% 的啤酒渣替代原料，並成功達到預定目標(Plant Chicago, 2016)。

蒸餾渣同樣適合用在牛、羊的飼料取代，但不適合用在豬、雞的飼料取代，因為蒸餾酒渣有單寧的成分，文獻指出蒸餾渣可取代 15~30%(w/w)的黃牛飼料(Al-Suwaiegh, S., 2002)，而豬隻飼養的部分，高粱酒渣在餵養豬隻的能量消化率平均只有 77%，其他全穀物餵豬則是可達到 87%(Stein, H. H. 2009)，而單寧對家禽類可能會造成不好的影響，因此蒸餾渣也不適合用在雞的飼料取代(Valérie Heuzé, 2015)。

3.5 糧食再利用

釀酒渣中有幾項被視為對人體有潛在效益的元素，如膳食纖維、蛋白質(Lynch, 2016)，膳食纖維包含了纖維素、半纖維素(木聚醣、阿拉伯醣)、木質素，為釀酒渣中最主要的成分，可幫助人體腸胃蠕動及排便。而蛋白質內包含了人類必要的幾項氨基酸，且 20% 的蛋白質含量也高其他種類的穀物(e.g. 小麥 10%)，是種良好的食品原料(Mussatto, 2006)。

為了使用啤酒渣內豐富的纖維及蛋白質，很多研究都嘗試將啤酒渣加到不同食品內，其中以烘焙食品最多，已經被用在麵包、鬆餅、蛋糕等麵粉為主體的烘焙食品上(Mussatto, 2014)。顆粒狀的啤酒渣經過研磨成粉可以視為與麵粉類似的狀態進行使用(Hassona, 1993)將啤酒渣使用在食品上最重要的步驟就是降低顆粒大小，同時在研磨的過程，還可篩選啤酒渣中較粗不適合用作烘焙的顆粒(L.T. Kissel, 1978)；使用啤酒渣作為食品的限制，包括啤酒渣中特殊的氣味及褐色的色澤，褐色的外表使得啤酒渣只能用在灰白色的產品，特殊的氣味較不被人們喜愛，因此也限制了啤酒渣的添加量，大約在 10~15%(w/w)(Lynch, 2016)(Mussatto, 2006)。

蒸餾酒渣在台灣被視為一種高纖及低 GI(Glycemic Index 升糖指數)食品，已經有非常多的高粱酒糟、酒粕食品在市面上販賣，蒸餾酒渣含有比啤酒渣更多的纖維及澱粉，使得蒸餾酒渣有更多的優勢使用在食品上(林太明, 2013)。文獻指出，使用高粱酒糟進行饅頭原料取代，且實際進行官能品評，得到結論是 60%(w/w)取代的高粱酒渣饅頭，在質地、風味、口感、接受度都跟一般饅頭無明顯差(陳琪穎, 2011)。顯示蒸餾酒渣已經被業者接受且有商業模式產生，並且能進行高比率的取代，蒸餾酒渣在食品業的發展是極具潛力。

3.6 生技產品再利用

研究指出，大麥穀粒是酚類化合物的極好來源，包括酚酸、黃酮類化合物、原花色色素等，它們被認為具有抗氧化和抗自由基的特性(Dolores Hernanz, 2001)，可當作天然防腐劑添加在食品中，除了食品保鮮的作用，同時也被認為是對人體有正面影響的物質(Silvia Martins, 2011)。這些酚類化合物經過製酒程序後留在了釀酒渣中，可以經由各種萃取方式將這些化合物提煉出來進行利用。

啤酒渣中含有豐富的酚類化合物，主要存在種皮、果皮層內，含量受到原料大麥種類及啤酒加工的窯燒溫度影響最大，含量最高的普遍為黃酮類化合物(Manuela M. Moreira, 2013)。從啤酒渣中萃取酚類化合物的手法有很多種，選擇不破壞啤酒渣中其他物質的方法為首選，原因為萃取出酚類化合物後的剩餘物，可以進行其他再利用的用途，因此如果啤酒渣內的物質如纖維素或半纖維素被破壞，將會大幅降低其可再利用

用性，因此有越來越多的研究探討最有效且溫和的方式取出分類萃取物，例如溶劑萃取法的使用可不侵入性的得到酚類化合物(Meneses, N., 2019)。

蒸餾酒渣依照使用的高粱品種不同，而會有不同的酚類化合物含量，顏色越深的高粱含有更多的單寧在裡面(J. S. Wall, 1969)，酚類化合物對人體還有很多潛在的功能可被發展，如抗菌、抗過敏、抗發炎的功效，因此未來可望將蒸餾酒渣應用到生醫產品中，進而提其附加價值(黃子軒, 2016)。

3.7 台灣釀酒渣生產與再利用現況

據環保署統計，台灣 2017 年釀酒渣申報量為 140,134 公噸，各縣市產量與釀酒廠數量見表 5，釀酒廠為根據財政部國庫署登記資料統計。

表 5 2017 年各縣市釀酒渣產量與釀酒廠數量

縣市別	申報量(公噸)	登記釀酒廠數量	縣市別	申報量(公噸)	登記釀酒廠數量
臺北市	162	1	南投縣	0	16
臺中市	14,290	43	彰化縣	0	38
基隆市	0	0	新竹市	0	3
臺南市	10,631	16	雲林縣	400	24
高雄市	0	31	嘉義縣	0	14
新北市	0	26	屏東縣	1,695	20
宜蘭縣	4,376	12	花蓮縣	1,908	10
桃園市	0	44	臺東縣	0	11
嘉義市	0	0	金門縣	88,704	8
新竹縣	0	13	澎湖縣	0	1
苗栗縣	16,903	31	連江縣	1,064	2
小計	46,362	217	小計	93,771	147
總計				140,133	364

由表 5 所示，數量最多之釀酒渣產地為金門縣，占了 63.3%，有些地區如高雄市，有酒廠登記在高雄市內，但卻沒有酒渣申報，推測是自行利用了酒渣作為產品或做其他處理。金門縣以生產高粱酒為最大宗，所產生之釀酒渣為高粱種的蒸餾酒渣為主，由此可推斷，台灣的釀酒渣以高粱原料的蒸餾酒渣產出最多。

根據菸酒事業廢棄物再利用管理辦法規定，釀酒渣歸類於廢棄物代碼 R-0105 廢酒糟、酒粕或酒精醪，屬於公告可直接再利用廢棄物，目的事業主管機關為經濟部與財政部，再利用用途類別只有農業用途，只能做為 4 種再利用使用，分別為 (1)有機質肥料原料；(2)飼料原料；(3)雜項有機栽培介質原料、培養土原料、景觀園藝用栽培介質原料、栽培介質原料；(4)飼料(行政院環保署, 2016)。據經濟部與財政部的公告，目前釀酒渣在台灣只能作為飼料及堆肥再利用，使用 R-0105 的再利用機關有 107 家，有 22 家機關再利用用途為有機肥料原料，有 94 家再利用用途為飼料或飼料原料。有機肥料原料再利用方式為添加農業產品調整碳氮比後再進行堆肥，相關限制為不能與其他事業廢棄物混合清除。而飼料再利用方式為領有畜牧場、畜禽飼養登記證之畜牧場進行動物餵養，且再利用後無產品產出等規定。

四、釀酒渣的特性與再利用方式關係

各種再利用方式都是對釀酒渣中特定資源進行使用的一種程序，例如：堆肥是蛋白質中氮資源的使用、飼料再利用是纖維素、蛋白質的資源使用等等，顯而易見的，不同的釀酒渣特性組成將會有不同的再利用方式。以下討論啤酒渣與蒸餾酒渣適合之再利用方式。

4.1 啤酒渣的特性與再利用關係

啤酒渣在釀造時，只會參與到糖化的程序而不參與發酵，因此組成的變化主要受到原料大麥的影響，主要組成(纖維素、半纖維素、木質素、蛋白質)都在一定範圍內，因此可當作穩定的原料供給。但是因為大麥糖化的效率較高，造成了啤酒渣的殘餘澱粉含量約只占了 5%，限制了一些再利用的方式如生質乙醇的生產及人類食品的添加。

經由本文分析，最適合啤酒渣的再利用方式為動物飼料再利用、化學製品再利用及生技產品再利用等方式。啤酒渣的組成變化性穩定，對於畜牧業者來說，使用啤酒渣作為動物飼料餵養，比較容易管控飼料的品質，且大麥的酚類化合物組成成分比蒸餾酒渣來的更適合用在動物飼料；用作生技產品也有很多發展方向，啤酒渣內木質素也是活性碳的絕佳材料，因此這 3 種再利用方式是啤酒渣最佳選擇。

動物飼料與堆肥同時也是現今啤酒渣最多業者使用的再利用方式(Nigam, 2017)，建議業者可以結合高值化的生技產品生產，且完成生技產品製造後，剩餘物依然可以進行堆肥或動物飼料，這種方式可以將資源利用達到最大化，是值得研發的一項再利用流程。

4.2 蒸餾酒渣的特性與再利用關係

蒸餾酒渣的組成受到很多因素影響，有原料種類、重複發酵次數、稻殼添加因素等，雖然組成變化較大，但是有一項特性是可確定的，就是澱粉及木質纖維的殘留量較啤酒渣大，使得蒸餾酒渣在其他再利用方式有更多的潛力。

經由本文分析，蒸餾酒渣除了堆肥、化學製品、生技產品以外，也適合用作再生能源生產與人類食品使用，有了更多的澱粉與纖維，可以增加再生能源的產氣效率，且產氣種類可為乙醇、丁醇、甲烷等(付善飛, 2014)(宋安東, 2003)，是很適合的一種原料。同樣地，澱粉與纖維也可適合用作烘焙食品原料，可以提供更多對人體有用的營養物質，且經過研究證實，產品是人們可以接受的範圍，使用在食品上不只可以減少廢棄物量，同時可以增加糧食產量，甚至提供給糧食匱乏地區的人們做食用，緩解糧食短缺的問題。

由於蒸餾酒渣的組成變化性大，因此可以由藉由得到的蒸餾酒渣成分，來決定最適合的再利用方式，表 6 為 3 種蒸餾酒渣分類及再利用建議。

表 6 不同蒸餾酒渣種類與相應的再利用方式

種類	再利用方式
高澱粉、高纖維	澱粉殘留最多、稻殼拌入最多的一種類型，可以用作再生能源提供，剩餘物還可進行堆肥。
高纖維	稻殼拌入相對較少的類型，纖維較少不適合動物食用，可以用做人類烘焙食品。
高澱粉	發酵次數較多的類型，使得殘留澱粉量較少，對於人體的營養價值較少，因此較適合作為動物飼料使用

綜合以上幾種特性與再利用方式關係的分析，本文將提出適合台灣釀酒渣再利用方式的建議作法。

五、台灣釀酒渣再利用方式展望

礙於法規規定，釀酒渣目前只能用做飼料及肥料再利用，如無此法規限制，台灣的釀酒渣將可以進行更多的再利用處理。本文經由分析了釀酒渣的特性及再利用的方式後，提出了一項多種再利用程序組合而成的釀酒渣資源化方式，來達到最大化的利用酒渣中的所有成分，減少剩餘廢棄物的產生。

5.1 啤酒渣再利用

經由以上分析，本文提出了一套流程來達到所有成分的再利用，流程見圖 2。最初由酚類化合物萃取開始，之後進入木質素萃取作為活性碳材料的階段，最終步驟則回到普遍的堆肥或動物飼料再利用上。這種設計改善了目前直接堆肥或直接餵養動物對於其他成分的浪費，同時去除了不利於堆肥及動物飼料的木質素，間接地增加了堆肥及餵養的使用效率。這種程序的實施重點在於萃取特定物質時，同時能夠確保其他成分的完整性，因此必須選用不破壞或共萃取其他物質的方式，如溶劑萃取法等。為了達成此流程，建議學者需對萃取方式進行更多研究，以得到高效率又溫和的萃取方式。

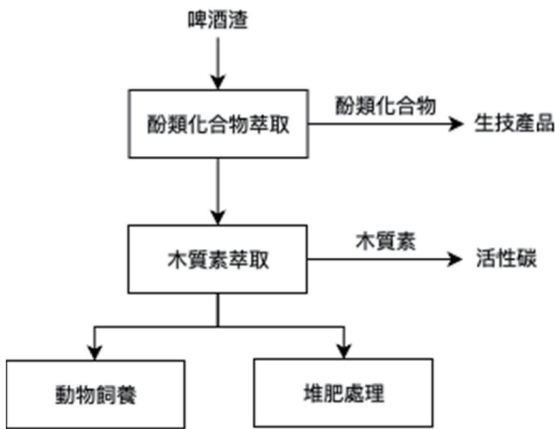


圖 2 啤酒渣建議再利用程序

5.2 蒸餾酒渣再利用

本文建議之蒸餾酒渣再利用程序見圖 3，此流程同樣先進行酚類化合物及木質素萃取程序，之後分成 4 種不同組成的蒸餾酒渣進行不同再利用方式，低澱粉種類作為動物飼料使用，低纖維種類作為人類食品使用，高澱粉、高纖維作為再生能源提取，提取為剩餘物再進行堆肥處理，這種處理程序可以去除蒸餾酒渣中的單寧成分，使得餵養雞的效率提升，也更能夠符合台灣畜牧業以豬、雞飼養為主的環境，且達到所有蒸餾酒渣內資源的使用。

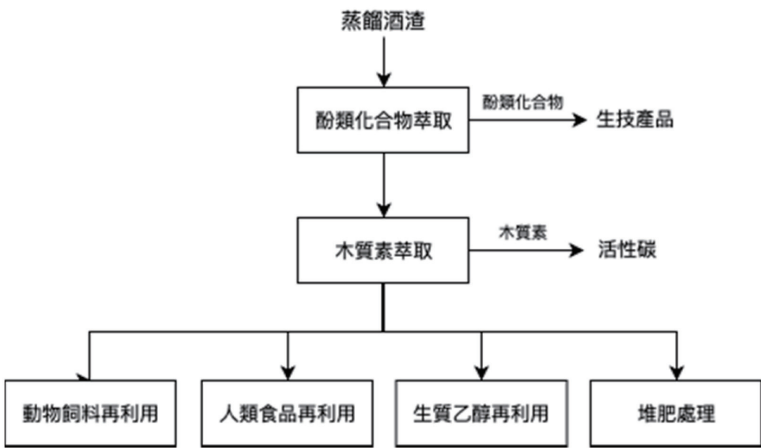


圖 3 蒸餾酒渣建議再利用程序

5.2 再利用可行性與成本討論

以上設計之回收流程使用中酚類化合物萃取及木質素萃取，建議可使用之回收技術為液-液萃取法，國內外有許多回收廠使用此方式回收金屬及有機物，回收釀酒渣時，可設計只對目標物質進行萃取而不破壞原本結構，操作方式簡單且萃取液可重複使用，雖萃取劑成本較高，但程序設計得宜可使萃取劑能夠回用，進而減低回收成本，是一種值得研究的萃取方式。

六、結論

釀酒渣為一種極具再利用可能性的廢棄物，台灣主要產出啤酒渣與蒸餾酒渣 2 種釀酒渣，釀酒渣的再利用方式有很多種，台灣大部分釀酒渣都是進行堆肥處理及做成動物飼料，浪費了許多釀酒渣內可利用的其他成分，本文分析了釀酒渣的特性以及各種再利用方式的關係，並且分別為啤酒渣與蒸餾酒渣設計了一套可以完全利用酒渣內所有資源的再利用流程，為了能夠執行這套流程，本文建議進行溫和的酚類化合物及木質素的萃取方式研究，來達到真正零廢棄的目標。

參考文獻

- 付善飛、許曉暉、施曉爽、王傳水、喬江濤、楊智滿、郭榮波(2014)，酒糟沼氣化利用的基礎研發，CIESC Journal, Vol.65,No.5，p1913-1919。
- 行政院環保署(2016)，事業廢棄物再利用管理手冊，p19~20。
- 行政院環保署(2017)，事業廢棄物申報及管理資訊系統。<https://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp?Func=5>
- 宋安東、張建威、吳雲漢、馬向東(2003)，利用酒糟生物質發酵生產燃料乙醇的試驗研究，農業工程學報，第 19 卷，第 4 期，p 278-281。
- 林太明(2013)，高粱酒糟萃取抗性澱粉及其應用，國立金門大學食品科學系，碩士論文。

財政部國庫署(2018)。

<https://www.nta.gov.tw/default.aspx>

陳琪穎(2011)，高粱酒糟粉末製程及其生理活性評估，國立宜蘭大學食品科技系，碩士論文。

黃子軒(2016)，高粱酒糟萃取液之製備及其有機酸成分與胞外生物活性之評估，國立中興大學食品暨應用生物科技學系，碩士論文。

Aliyu S, Bala M. (2011), Brewer's spent grain: a review of its potentials and applications, *Afr J Biotechnol* 10(3):324-31.

Al-Suwaiegh, S. ; Fanning, K. C. ; Grant, R. C. ; Milton, C. T. ; Klopfenstein, T. J., (2002), Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle, *J. Anim. Sci.*, 80 (4):1105-1111.

Andressa Faccenda, Maximiliane Alavarse Zambom, Deise Dalazen Castagnara, André Sanches de Avila, Tatiane Fernandes, Everline Inês Eckstein, Fernando Andre Anschau, Cibele Regina Schneider. (2017), Use of dried brewers' grains instead of soybean meal to feed lactating cows, *R. Bras. Zootec.*, 46(1):39-46, 2017.

Arendt, E. K., and Zannini, E. (2013), *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*, p. 163.

Azevedo Borges, C., Géczi, G., Kovács, K., Horváth, M., Bácskai, I., & Korzenszky, P. . (2015), Examination of energy recovery of brewers' spent grain I. - Chemical process. *Journal Of Microbiology, Biotechnology And Food Sciences*, 05(02), 116-119.

Ballesteros, L., Teixeira, J., & Mussatto, S. . (2014), Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food And Bioprocess Technology*, 7(12), 3493-3503.

Boudet, A. M., Kajita, S., Grima-Pettenati, J., and Goffner, D. (2003), Lignins and

- lignocellulosics: A better control of synthesis for new and improved uses, *Trends Plant Sci.* 8, 576-581. .
- Buffington Jack. (2014), The Economic Potential of Brewer' s Spent Grain (BSG) as a Biomass Feedstock, *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2014, 4, 308-318.
- Carvalho, F., Duarte, L.C., Gírio, F.M. (2008), Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatments, *J. Sci. Ind. Res.* 67, 849–864.
- Cassano A, Donato L, Conidi C, Drioli E. . (2008), Recovery of bioactive compounds in kiwifruit juice by ultrafiltration, *Innov Food Sci Emerg* 2008;9:556–62.
- Cláudia Amorim, Sara C. Silvério, Soraia P. Silva, Elisabete Coelho, Manuel A. Coimbra, Kristala L.J. Prather, Lúcia R. Rodrigues, . (2018), Single-step production of arabino-xylooligosaccharides by recombinant *T. Bacillus subtilis* 3610 cultivated in brewers' spent grain, *Carbohydrate Polymers* 199 (2018) 546-554.
- Crosier D. Joshua. (2014), Agricultural Utilization of Brewers' Spent Grains & Sawdust: Effects on Fertility of Soils and Productivity of Crops, A thesis presented to the faculty of the College of Arts and Sciences of Ohio University .
- Czuchajowska Z, Klamczynski A, Paszczynska B, Baik BK. (1998), Structure and functionality of barley starches, *Cereal Chem* 75:747-54.
- David Outeiriño, Iván Costa-Trigo, Alicia Paza, Francisco J. Deive, Ana Rodríguez, José Manuel Domínguez, . (2019), Biorefining brewery spent grain polysaccharides through biotuning of ionic liquids, *Carbohydrate Polymers* 203 (2019) 265-274.
- del Río, Prinsen & Gutiérrez. (2013), Chemical composition of lipids in brewers spent grain: A promising source of valuable phytochemicals, *Journal Of Cereal Science*, 58(2), 248-254.
- Dolores Hernanz, Verónica Núñez, Ana I. Sancho, Craig B. Faulds, Gary Williamson,

- Begoña Bartolomé, and Carmen Go´mez-Cordove´s. (2001), Hydroxycinnamic Acids and Ferulic Acid Dehydrodimers in Barley and Processed Barley, J. Agric. Food Chem. 2001, 49, 4884-4888.
- Duff, S.J.B., Murray, W.D. (1996), Bioconversion of forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review, Bioresour. Technol. 55, 1–33.
- Engineering ToolBox. (2003), Fuels - Higher and Lower Calorific Values. [online] https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html.
- Farcas, A., Tofana, M., Socaci, S., Scrob, S., Salanta, L., & Bors, D. . (2013), Polarimetric Determination of Starch in Raw Materials and Discharged Waste from Beer Production. Bulletin Of University Of Agricultural Sciences And Veterinary Medicine Cluj-Na.
- Guangyuan Jin , Yang Zhu , Yan Xu. (2017), Mystery behind Chinese liquor fermentation, Trends in Food Science & Technology 63 (2017) 18-28.
- Guo, Y., & Rockstraw, D. . (2007), Physicochemical properties of carbons prepared from pecan shell by phosphoric acid activation, Bioresource Technology, 98(8), 1513-1521.
- HassonaZ.H. (1993), High fibre bread containing brewer’ s spent grains and its effect on lipid metabolism in rats, Die Nahrung 37 (1993) 6, 576-582.
- Huilin Liu and Baoguo Sun. (2018), Mystery behind Chinese liquor fermentation. J. Agric. Food Chem, 2018, 66, 5425-5432.
- Isikgor, F., & Becer, C. (2015). Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. Polymer Chemistry, 6(25), 4497-4559. .
- Izydorczyk MS, Storsley J, Labossiere D, MacGregor AW, Rossnagel BG. (2000), Variation in total and soluble β -glucan content in hullless barley: effects of thermal,

- physical, and enzymic treatments, *J Agric Food Chem* 48:982–9.
- J. S. Wall, C. W. Blessin. (1969), Composition and Structure of Sorghum Grains. *CEREAL SCIENCE TODAY*, AUGUST 1969 VOLUME 14 NUMBER 8, p264-271.
- Keller-Reinspach, H.W. (1989), Emissions during the combustion of spent brewers' grains, *Brauwelt* 129, 2316-2319.
- L.T.Kissel, N. Prentice. (1978), Protein and Fiber Enrichment of Cookie Flour with Brewer's Spent Grain, *Cereal Chemistry*, 56(4), p261-266.
- Lynch, Steffen & Arendt. (2016), Brewer's spent grain: a review with an emphasis on food and health, *Journal Of The Institute Of Brewing*, 122(4), 553-568.
- M. Jayant, M.A. Hassan, P.P. Srivastava, D.K. Meena, P. Kumar, A. Kumar, M.S. Wagde. (2018), Brewer's spent grains (BSGs) as feedstuff for striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* fingerlings: An approach to transform waste into wealth, *Journal of Cleaner Production* 199 (2018) 716-722.
- Mahesh Gupta, Nissreen Abu-Ghannam, and Eimear Gallagher, (2010), Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products, *Comprehensive reviews in food science and food safety—Vol. 9*, 2010.
- Manuela M. Moreira, Simone Morais, Daniel O. Carvalho, Aquiles A. Barros, Cristina Delerue-Matos, Luís F. Guido. (2013), Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds, *Food Research International*, 54(1), 382-388.
- Mei Ying Su, Wen Shong Tzeng, Yuan Tay Shyu. (2010), An analysis of feasibility of bioethanol production from Taiwan sorghum liquor waste, *Bioresource Technology* 101 (2010) 6669-6675.
- Meneses, N., Martins, S., Teixeira, J., & Mussatto, S. (2019), Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent

grains.

MONTANE, D., TORNEFERNANDEZ, V., & FIERRO, V. (2005), Activated carbons from lignin: kinetic modeling of the pyrolysis of Kraft lignin activated with phosphoric acid, *Chemical Engineering Journal*, 106(1), 1-12.

Mussatto, S., Dragone, G., & Roberto, I. (2006), Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications, *Journal Of Cereal Science*, 43(1), 1-14.

Mussatto, S., Fernandes, M., Rocha, G., Órfão, J., Teixeira, J., & Roberto, I. (2010), Production, characterization and application of activated carbon from brewer' s spent grain lignin. *Bioresource Technology*, 101(7), 2450-2457.

MussattoS. (2014), Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications, *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 94(7), 1264-1275.

Nam SH, Choi SP, Kang MY, Koh HJ, Kozukue N, Friedman M. (2006), Antioxidative activities of bran from twenty one pigmented rice cultivars, *Food Chem* 94:613-20.

NigamSinghPoonam. (2017), An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery, *Waste Management* 62 (2017) 255-261.

Organization, World Health. (2018), Global status report on alcohol and health 2018. ISBN 978-92-4-156563-9, p38-43.

Ovanka levic, Olivera djuragic & Slavica sredanovic. (2010), Use of new feed from brewery by-products for breeding layers, *Romanian Biotechnological Letters* , Vol. 15, No.5,.

P.C. Torres-Mayangaa, S.P.H. Azambujaa, M. Tyufekchievb, G.A. Tompsett, M.T. Timkob, R. Goldbecka, M.A. Rostagnoc, T. Forster-Carneiroa, . (2019), Subcritical water hydrolysis of brewer' s spent grains: Selective production of hemicellulosic sugars (C-5 sugars), *The Journal of Supercritical Fluids* 145 (2019) 19-30.

Pedro E. Plaza, Luis Javier Gallego-Morales, Mariana Peñuela-Vásquez, Susana

- Lucas, M. Teresa García-Cubero, Mónica Coca. (2017), Biobutanol production from brewer' s spent grain hydrolysates by *Clostridium beijerinckii*, *Bioresource Technology* 244 ,166-174.
- Peng, P., & She, D. (2014), Isolation, structural characterization, and potential applications of hemicelluloses from bamboo: A review. *Carbohydrate Polymers*, 112, 701-720.
- Plant Chicago. (2016), Fish feed experiment - spent grain | Plant Chicago. <http://plantchicago.org/2016/06/28/369/>
- Pomeranz Y, Dikeman E. (1976), From barley to beer—a mineral study, *Brew Dig* 51:30-32.
- Psota V, Vejrazka K, Famera O, Hreka M. (2007), Relationship between grain hardness and malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.), *J Inst Brew* 113:80-86.
- Robertson, J., I' Anson, K., Treimo, J., Faulds, C., Brocklehurst, T., Eijsink, V., & Waldron, K. . (2010), Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production, *LWT - Food Science And Technology*, 43(6), 890-896.
- Rocio Campos-Vega, Guadalupe Loarca-Piña, Haydé Vergara-Castañeda and B. Dave Oomah. (2015), Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects, *Trends In Food Science & Technology*, 45(1), 24-36.
- RyanR. (2014), Safety of Food and Beverages: Alcoholic Beverages. *Encyclopedia Of Food Safety*, 364-370.
- Sánchez, Ó., Ospina, D., & Montoya, S. (2017), Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process, *Waste Management*, 69, 136-153.
- Sana Ikram, LianYan Huang, Huijuan Zhang, Jing Wang , and Meng Yin. (2017),

- Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain, *Journal of Food Science* Vol. 82, Nr. 10.
- Senthil Murugan S, Sakkaria Ibrahim, Seethalakshimi M. (2014), Ramanathan A, Raja T.V, and Joseph, M, Feeding Value of Wet Brewer's Grains for Lactating Cows, Conference: Proceedings of 26th Kerala Science Congress At: Wayanad, Kerala.
- Silvia Martins, Solange I. Mussatto, Guillermo Martínez-Avila, Julio Montañez-Saenz, Cristóbal N. Aguilar, Jose A. Teixeira. (2011), Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances* 29 (2011) 365-373.
- Stein, H. H. ; Shurson, G. C. (2009), The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.*, 87 (4): 1292-1303.
- Steiner, J., Procopio, S., and Becker, T. (2015), Brewer's spent grain: Source of value-added polysaccharides for the food industry in reference to the health claims, *Eur. Food Res. Technol.* 241, 303-315.
- Thiago Rocha dos Santos Mathias, Verônica Marinho Fontes Alexandre, Magali Christe Cammarota, Pedro Paulo Moretzsohn de Mello and Eliana Flávia Camporese Sérvulo. (2015), Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. *J. Inst. Brew.* 2015; 121: 400-404.
- Toscano, G., Riva, G., Duca, D., Pedretti, E., Corinaldesi, F., & Rossini, G. . (2013), Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery, *Biomass And Bioenergy*, 55, 260-267.
- Valérie Heuzé, Denis Bastianelli, Gilles Tran, Sylvie Giger-Reverdin. (2015), Sorghum by-products. https://www.researchgate.net/publication/281992044_Sorghum_by-products
- Xiao-Wei Zheng, Bei-Zhong Han. (2016), Baijiu (白酒), Chinese liquor: History,

- classification and manufacture. J Ethn Foods 3 (2016) 19e25.
- Ye Sun, Jiayang Cheng. (2002),Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, Bioresource Technology 83 (2002) 1-11.
- ZangMingchu. (2015), Using Spent Brewery Grain in the Alaska Compost Pile, Cooperative Extension Service: www.uaf.edu/ces
- Zhang, J., & Zang, L. (2016), Enhancement of biohydrogen production from brewers' spent grain by calcined-red mud pretreatment, Bioresource Technology, 209, 73-79.
- Zheng, X., Tabrizi, M., Nout, M., & Han, B. (2011), Daqu- A Traditional Chinese Liquor Fermentation Starter. Journal Of The Institute Of Brewing, 117(1), 82-90.