DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2021.04.038

# 甘蔗糖蜜和甜菜糖蜜中主要活性物质及其生理功能研究进展

# Research progress on the main active components and physiological functions of sugarcane molasses and beet molasses

李清岚　崔　春　王　炜

*LI Qing-lan　CUI Chun　WANG Wei*

(华南理工大学食品科学与工程学院,广东 广州　510640)

(*College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong* 510640, *China*)

**摘要:**文章概述了糖蜜的应用范围,综述了甘蔗糖蜜和甜菜糖蜜的主要活性物质及其生理活性,并对糖蜜活性物质的发展前景进行了展望。

**关键词:**糖蜜;活性物质;应用;生理活性

**Abstract:** In this review, the application scope of molasses was summarized, and the main active substances and their physiological activities of sugarcane molasses and beet molasses were introduced. In addition, the development prospect of molasses active substances was prospected.

**Keywords:** molasses; active substances; application; physiological activity

甘蔗、甜菜等农作物在制糖过程中,清汁经结晶、分蜜后得到白砂糖,但料液中酚类、色素、无机盐等非糖物质不断富集导致部分料液始终无法结晶,这部分残留料液被称为糖蜜(图 1)[1]。糖蜜是制糖工业的主要副产物,为一种黏稠、深棕色、半流动的液态物质。据估计,全世界糖蜜年总产量为 4 500 万 t,其中甘蔗糖蜜为 3 400 万 t,甜菜糖蜜为 1 100 万 t,中国糖蜜年产量约为 300 万 t[2]。糖蜜含有糖类、蛋白质、矿物质、维生素等多种营养物质,还含有酚类物质、甜菜碱、低聚糖、磷脂等生物活性物质,具有较高的营养保健价值。

目前,国内外已有较多关于糖蜜活性物质生理功能的报道,其中糖蜜多酚类物质的研究最多,其次为甜菜碱、低聚糖、多糖,这些活性物质具有众多生物活性作用,但大部分研究停留在体外试验和动物试验,缺少临床试验。糖蜜的其他生物活性物质如磷脂、植物甾醇等含量很少,单独提取分离成本大,所以深入研究及应用相对较少,因此可以优化对一种糖蜜的几种活性物质的连续分离纯化的工艺,实现对糖蜜活性物质的充分研究和利用。此外,糖蜜的活性物质在食品、环境、饲料等领域也得到广泛应用,但其产品化和产业化程度较低。文章拟概述糖蜜的应用范围,对甘蔗糖蜜和甜菜糖蜜中的主要活性物质及其生理活性进行综述,并对其未来发展方向进行展望,以期为糖蜜的深加工提供依据。

## 1　糖蜜的应用范围

糖蜜最初常被应用于动物饲料行业中,因其不仅可为反刍动物提供必要的营养物质,其甜味还可掩盖饲料的不良气味,改善其适口性,而且糖蜜的黏稠性及半流动状态使其具有粘结作用,可降低饲料的粉尘率、提高饲料质量[3]。金秋岩[4]研究发现在饲料中添加糖蜜能够显著提高颗粒饲料的硬度,降低粉化率。当糖蜜添加水平为 0%～8%时,随着添加水平的增加可显著提高肉兔的增重,降低料重比。Kyum 等[5]研究发现在雄性杂交犊牛的每日基础饲料中添加 500 g 糖蜜,相比不添加糖蜜组可明显提高犊牛的日增重、身高及体长的增加量。糖蜜还可以作为青贮饲料的发酵促进剂,改善青贮饲料的发酵品质。潘艺伟等[6]研究表明在稻草微贮饲料中添加 5×

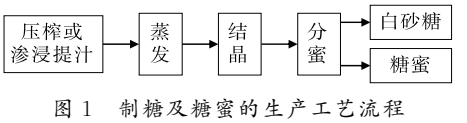


图 1　制糖及糖蜜的生产工艺流程

Figure 1　Production process of sugar and molasses

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:31201416);国家重点研发计划(编号:2016YFD0400803)

**作者简介:**李清岚,女,华南理工大学在读硕士研究生。

**通信作者:**崔春(1978—),男,华南理工大学教授,博士。E-mail:cuichun@scut.edu.cn

**收稿日期:**2020-07-25

$10^5$ CFU/g 乳酸菌的基础上再添加 1.5%甘蔗糖蜜，可显著提高微贮稻草的粗蛋白、可溶性糖、乳酸含量和干物质体外消化率，降低粗纤维含量。此外，糖蜜因能延缓水泥水化过程，可作为水泥缓凝剂或助磨剂。李伟峰等[7]发现糖蜜经合适的酸、碱改性后，对水泥具有更好的助磨性能，还略延长水泥的凝结时间，提高各龄期的抗压强度。由于糖蜜产量大且含有较丰富的营养物质和活性物质，作为饲料等方式，利用率较低，因此综合利用糖蜜，对糖蜜附加值的提高具有重大意义。

随着微生物发酵和生物催化转化技术的崛起与成熟，目前糖蜜被广泛应用于发酵工业。作为天然的发酵原料，糖蜜可为微生物生长繁殖提供丰富的碳源、氮源、无机盐，生产醇类、有机酸等高附加值产品，而且糖蜜中的活性物质可能对发酵有一定的促进作用。Xu 等[8]研究了甜菜碱对凝结芽孢杆菌发酵产 *L*-乳酸的影响，发现添加 0.05 g/L 甜菜碱比无甜菜碱时多产 17.9%乳酸，若用甜菜糖蜜替代部分葡萄糖来提供 10%的碳源，在生物反应器中与葡萄糖共同进料发酵，比以葡萄糖作为唯一碳源的乳酸发酵的生产率提高了 1.22 倍。

Tounsi 等[9]在研究芝麻酱中添加角豆糖蜜的食品配方时，发现用 50%的角豆糖蜜在 60 °Bx 条件下配制的混合物总体可接受性数值最好，可以改善芝麻酱乳化稳定性、色泽、质地的物理性质，增加可溶性糖和酚类化合物含量，降低油和蛋白质含量。因此，添加糖蜜的食物可能成为一种有前途的营养健康食品。但当糖蜜应用于热加工食品时，可能会增加食品内源性污染物 5-羟甲基糠醛，其摄入后可转化为具有致癌毒性的物质。Filipcev 等[10]发现糖蜜的添加虽然会改善饼干的营养成分和抗氧化能力，但也会增加饼干中 5-羟甲基糠醛含量。

## 2　糖蜜的主要活性物质及其生理功能

制糖原料甘蔗、甜菜含有多种天然活性物质，这些活性物质多数被保留在糖蜜中(表 1)，其在原料中含量并不高，却在糖蜜中被高度浓缩，因此糖蜜是富集或提取活性物质的良好资源。

### 2.1　多酚类物质

糖蜜是天然多酚类物质的良好来源，糖蜜中的多酚类物质包括黄酮类、酚酸类和单宁类物质。糖蜜中提取的多酚类物质或以多酚物质为主的糖蜜提取物具有较强的抗氧化、抗菌作用，常被用作抗氧化剂、抑菌剂、防腐剂等，在抗肿瘤，防治高血糖、高血脂、心脑血管等众多疾病上有积极作用[11-13]。甘蔗糖蜜中酚类物质的种类比甜菜糖蜜的多，且总酚含量也高于甜菜糖蜜中的，如 Valli 等[14]研究发现甘蔗糖蜜中的总酚含量是甜菜糖蜜中的 6 倍，因此甘蔗糖蜜多酚类物质的抗氧化能力强于甜菜糖蜜多酚类物质。

**表 1　糖蜜的活性物质**

Table 1　Active substance in molasses

| 种类 | 主要活性物质 | 次要活性物质 |
|---|---|---|
| 甘蔗糖蜜 | 酚类物质、低聚糖 | 植物甾醇、活性多糖 |
| 甜菜糖蜜 | 酚类物质、甜菜碱、低聚糖 | 神经酰胺、皂苷、类固醇、萜类化合物 |

Chen 等[15]通过 SDS-PAGE 电泳、扫描电子显微镜和透射电子显微镜的分析方法，发现含有没食子酸、羟基苯甲酸、丁香酸、阿魏酸、香兰素、儿茶素、矢车菊素-3-*O*-芸香糖苷、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷、飞燕草素-3-*O*-葡萄糖苷、飞燕草素-3-*O*-芸香糖苷的甜菜糖蜜多酚提取物对金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌、大肠杆菌和鼠伤寒沙门菌 4 种食源性病原菌具有明显的抑菌作用，这可能是通过破坏细菌的细胞质膜和蛋白质，改变细胞的形态和内部结构来表现抑菌活性。

孔繁晟[11]研究总多酚含量为 17.90%的糖蜜提取物(ESM)对 2 型糖尿病(T2DM)大鼠的降血糖、降血脂活性的影响，对比模型组大鼠，ESM 给药组能改善“三多一少”的症状，有利于延缓糖尿病并抑制并发症的发展，且 EMS 明显降低了 T2DM 大鼠的总胆固醇和甘油三酯含量，提高了高密度脂蛋白胆固醇水平。Ali 等[16]通过 DPPH 法、TEAC 法和 FRAP 法测定发现糖蜜具有较高的抗氧化性，并且经过体外 $\alpha$-淀粉酶和 $\alpha$-葡萄糖苷酶抑制性测定发现糖蜜可抑制这两种酶活性，表明糖蜜可能具有抗高血糖的作用。Chen 等[17]从甜菜糖蜜中分离纯化出的没食子酸(GA)、氯化矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷(CGC)和表儿茶素(EP)具有很强的抗氧化性，其中 GA 表现出最强的抗氧化活性；其抗肿瘤活性以剂量依赖性方式增加，特别是 CGC 在最高浓度为 400 μg/mL 提取物时对人结肠癌细胞、肝癌细胞和乳腺癌细胞的生长抑制活性分别为 94.86%，87.27%，67.13%，进一步证明了糖蜜中的抗癌成分主要为多酚物质。

以多酚物质为主的糖蜜提取物添加到热加工食品中可以通过自由基途径和美拉德反应途径抑制致癌物质杂环胺(HCA)的产生。于迪等[18]在腌制猪肉片过程加入以多酚物质为主的甘蔗糖蜜提取物，并采用真空—加压循环腌制技术，可以有效降低肉脯制品中 HCA 含量，且抑制率>50%。Cheng 等[19]将涂有不同浓度甘蔗糖蜜提取物的麦芽糖水溶液的鸡翅分别油炸 2.5，5.0 min，与对照组相比，样品的总 HCA 含量抑制率分别为 32.5%～43.9%，18.5%～29.9%。此外，利用甘蔗糖蜜为细菌提供营养的生物处理法被认为是一种安全有效的去除污染环境的六价铬的方法，比葡萄糖能更有效地从污染土壤中去除六价铬，甘蔗糖蜜中六价铬的还原活性与其多酚含量和 pH 值有关[20]。综上，糖蜜的多酚类物质除了具有

众多生理功能,可应用于保健食品、医药行业,还可以抑制一些有害物质的产生,在食品致癌致突变危害物控制、环境污染物处理等方面发挥作用。

### 2.2 甜菜碱

甜菜碱是一种季铵型生物碱,化学名称为 $N,N,N$-三甲基甘氨酸内盐,在新鲜甜菜中含量可达 0.3%~0.7%,制糖过程中甜菜碱几乎不受破坏地进入到废蜜中,废蜜中(干固物)甜菜碱含量可高达 8%[21],是提取天然甜菜碱的良好原料。甜菜碱作为优良的甲基供体和渗透调节剂,在医药领域具有许多良好的药理作用,可参与氨基酸代谢和脂肪代谢、调节渗透压、促进生长、抑制细胞凋亡、抑菌抗炎、抗氧化等[22-24],尤其是在治疗高同型半胱氨酸血症和肝脏疾病方面取得了较好的成效。

金莉莉等[25]通过建立高脂模型小鼠来测定甜菜碱和叶酸对小鼠血清及肝脏中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、同型半胱氨酸(HCY)、丙二醛(MDA)和超氧化物歧化酶(SOD)含量的影响,结果表明甜菜碱能够显著降低高脂小鼠肝脏中 HCY、TC、TG、MDA 含量,提高 SOD 活力,且其降低肝脏 TG、HCY、MDA 水平和提高 SOD 活力的效果优于叶酸。Drobny 等[26]研究表明富含甜菜碱的甜菜糖蜜能够阻止秀丽隐杆线虫在 37 ℃时接触同型半胱氨酸所引起的存活率下降。Okada 等[27]发现 1%甜菜碱可提高肝损伤大鼠的肝脏和血清谷胱甘肽水平,增加谷胱甘肽相关酶活性,具有保肝作用。甜菜碱可能通过降低血浆内毒素水平,拮抗肝脏内质网应激反应,调节巨噬细胞的极化状态等途径发挥保护肝脏的作用[28]。

此外,甜菜碱作为畜禽饲料添加剂还可改善动物的生长性能、胴体品质、产蛋率等,从而降低生产成本。在肉鸡和仔猪的日粮中添加一定比例的甜菜碱,可通过改善肠道结构、增加消化酶活性、促进营养物质消化等来改善其生长性能[29-30]。Omer 等[31]以添加 0.5%甜菜碱的日粮连续饲喂蛋鸡 4 周,与普通饮食相比,蛋鸡的产蛋量可增加 4.3%。

### 2.3 棉籽糖

功能性低聚糖是人和动物肠道有益菌的促进生长因子,可以通过直接或间接作用来维持肠道健康、增强机体抗氧化性、提高机体免疫力、降低血清胆固醇等[32]。棉籽糖是一种功能性低聚糖,主要从棉籽粕和甜菜糖蜜中提取,其中甜菜废蜜中的棉籽糖含量达 1.0%[33],经处理后甜菜糖蜜中的含量可更高。华欲飞等[34]发明了一种从甘蔗、甜菜加工过程产生的糖蜜废液中回收棉籽糖的工业化方法,从所用的甘蔗、甜菜加工厂废水中测出棉籽糖含量分别为 2.6%,2.1%。

功能性低聚糖很早就被证实能有效增殖肠道内的有益菌尤其是双歧杆菌和乳酸杆菌,抑制有害菌的生长,改善肠道菌群失衡。贺晨[35]研究发现用高剂量(25%)的棉籽糖对小鼠进行饮食干预,肠道双歧杆菌的增殖效果显著,丰度增加至 63.27%,并且对健康指标无不良影响。姜宝森[36]研究发现,与未添加棉籽糖的小鼠组相比,在基础日粮中分别添加 0.1%,0.3%棉籽糖的小鼠肠道总抗氧化水平分别提高了 56.20%,85.95%,丙二醛含量分别降低了 27.24%,35.32%,且两组均明显降低了小鼠盲肠肠球菌和肠杆菌数,增加了乳酸菌和双歧杆菌数,说明棉籽糖不仅能调节肠道菌群,还能提高小鼠肠道的抗氧化能力。徐大专等[37]在 SD 大鼠的基础日粮中添加 0.15%的棉籽糖,发现棉籽糖可以促进免疫器官发育,提高 T 淋巴细胞阳性率,且能提高血清中 SOD、GSH-Px 活性,降低血清中 $H_2O_2$、MDA 含量,说明棉籽糖可增强大鼠机体的免疫力,提高抗氧化作用。

### 2.4 神经酰胺

热娜古丽·木沙等[38]从甜菜废蜜中检测到神经酰胺,但含量较少。神经酰胺在鞘磷脂途径中作为第二信使分子,对细胞的增殖、分化、凋亡起调节作用,在动脉粥样硬化、糖尿病等疾病的发生发展发挥重要的调节作用,还有研究认为神经酰胺可能与抑郁症[39]、肥胖症[40]治疗有关,但具体的作用机制尚未清楚。此外,作为皮肤角质层细胞间脂质的主要成分,神经酰胺对表皮角质层形成过程发挥重要作用,具有维持皮肤屏障、保湿、抗衰老、美白等作用[41],因此在化妆品领域受到了高度关注。

### 2.5 其他物质

糖蜜中还含有多糖、植物甾醇、低聚果糖、皂苷等生物活性物质,但相关研究并不多。Sakai 等[42]发现甘蔗糖蜜中水溶性粗多糖组分对派尔集合淋巴结免疫活性细胞具有较强的免疫调节活性。甜菜糖蜜中含有蔗果三糖,Tochio 等[43]发现富含蔗果三糖饮食可以诱导肝脏中 GST 的表达,提高小鼠肝脏中谷胱甘肽 S-转移酶(GST)的 mRNA 和酶活性水平,说明蔗果三糖可能具有提高小鼠的抗氧化活性作用,但该研究未测定任何氧化应激的直接介导因素,并且需要在试验动物和人类中进一步研究才能阐明蔗果三糖膳食对氧化应激相关疾病的影响。

## 3 结论

综上,糖蜜作为一种具有独特风味、营养物质丰富和生物活性显著的食品副产物,具有巨大的开发潜能和应用价值。糖蜜中活性物质的研究主要集中在多酚类物质和甜菜碱,生理活性相关研究多以体外试验或动物试验为主,某些具体作用机理尚未明确,因此其活性与功能之间的关系有待进一步研究,若要了解糖蜜提取物及其生物活性物质在复杂条件下的作用效果,需增加毒理试验和临床试验,客观评价糖蜜中生物活性的价值。此外,糖蜜是一种具有独特风味和生物活性的食品添加剂,是开发具有营养和保健价值的新型食品的良好资源,尤其是

糖蜜提取物中多酚类物质具有抗氧化作用，可应用于一些容易发生氧化的食品以抑制有害物质的产生或延长食品保质期。但是糖蜜在食品行业的应用尚处于初步阶段，与食品加工规模化、产业化还有一定距离，因此需要优化糖蜜或糖蜜提取物添加到食品中的产品配方和加工技术，以促进糖蜜的产业化发展。

## 参考文献


[1] 杨强剑. 膜分离技术在糖蜜澄清和脱色中的应用基础研究[D]. 北京：中国科学院大学(中国科学院过程工程研究所)，2019：1-2.

[2] 胡勇. 反刍动物舔砖综述[J]. 青海畜牧兽医杂志，2014，44(6)：42-46.

[3] 沈大春，敖俊华，吴启华，等. 甘蔗糖厂糖蜜及酒精废液应用现状与展望[J]. 甘蔗糖业，2019(3)：46-51.

[4] 金秋岩. 糖蜜对颗粒饲料质量及伊拉兔生产性能及相关指标的影响[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2016：23-25.

[5] KYUM M K，RAHMAN S M E，ISLAM M R，et al. A study on the growth performance of crossbred growing bull calves fed by supplementing molasses with straw based diets and conventional concentrates[J]. Journal of Biological Sciences，2003，3(1)：26.

[6] 潘艺伟，宦海琳，许能祥，等. 不同糖蜜及添加量对稻草饲料发酵品质的影响[J]. 江苏农业科学，2020，48(1)：155-159.

[7] 李伟峰，张胜标，程云川，等. 甘蔗糖蜜改性及对硅酸盐水泥性能的影响[J]. 新型建筑材料，2013，40(3)：11-13.

[8] XU Ke，XU Ping. Betaine and beet molasses enhance L-lactic acid production by Bacillus coagulans[J]. PLoS One，2014，9(6)：e100731.

[9] TOUNSI L，KCHAOU H，CHAKER F，et al. Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste[J]. J Food Science Technology，2019，56(3)：1 502-1 509.

[10] FILIPCEV B，MISAN A，SARIC B，et al. Sugar beet molasses as an ingredient to enhance the nutritional and functional properties of gluten-free cookies[J]. International Journal Food Science Nutrition，2016，67(3)：249-256.

[11] 孔繁晟. 甘蔗糖蜜中活性因子降血糖血脂作用及机理研究[D]. 广州：华南理工大学，2015：122-123.

[12] 杨谷良，黄春保，潘敏雄，等. 甘蔗多酚对胆固醇诱导高血脂大鼠的影响[J]. 江西农业大学学报，2017，39(5)：996-1 001.

[13] 赵毅. 甘蔗多酚分离鉴定及生物活性研究[D]. 广州：华南理工大学，2015：104-106.

[14] VALLI V，GO'MEZ-CARAVACA A M，DI NUNZIO M，et al. Sugar cane and sugar beet molasses，antioxidant-rich alternatives to refined sugar[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2012，60(51)：12 508-12 515.

[15] CHEN Ming-shun，ZHAO Zhen-gang，MENG He-cheng，et al. The antibiotic activity and mechanisms of sugar beet (Beta vulgaris) molasses polyphenols against selected food-borne pathogens[J]. LWT-Food Science and Technology，2017，82：354-360.

[16] ALI S，EL GEDAILY R，MOCAN A，et al. Profiling metabolites and biological activities of sugarcane (*Saccharum officinarum* Linn.) juice and its product molasses via a multiplex metabolomics approach[J]. Molecules，2019，24(5)：934.

[17] CHEN Ming-shun，ZHAO Zhen-gang，YU Shu-juan. Cytotoxicity and apoptotic effects of polyphenols from sugar beet molasses on colon carcinoma cells in vitro[J]. International Journal Molecular Sciences，2016，17(7)：993.

[18] 于迪，吴佳，郝瑞英，等. 一种利用甘蔗糖蜜提取物降低猪肉脯中杂环胺含量的方法：110771778A[P]. 2020-02-11.

[19] CHENG Yi-qun，YU Ya-jie，WANG Chong，et al. Inhibitory effect of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) molasses extract on the formation of heterocyclic amines in deep-fried chicken wings[J]. Food Control，2021，119：107490.

[20] IKEGAMI K，HIROSE Y，SAKASHITA H，et al. Role of polyphenol in sugarcane molasses as a nutrient for hexavalent chromium bioremediation using bacteria[J]. Chemosphere，2020，250：126267.

[21] 刘志刚. 甜菜糖蜜中甜菜碱的分离提取研究[D]. 杭州：浙江工业大学，2013：3-4.

[22] 陈辉. 甜菜碱的生物学功能及其在养猪生产中的应用[J]. 湖南饲料，2019(6)：45-48.

[23] 姜枚辰，张得钧. 甜菜碱的提取纯化及活性研究进展[J]. 药学研究，2019，38(1)：46-48.

[24] 张凯，宋献艺. 甜菜碱的功能及其在动物生产中的应用[J]. 饲料研究，2018(6)：4-6.

[25] 金莉莉，于炎巧，朱晓玉，等. 甜菜碱及叶酸的降血脂和抗氧化作用[J]. 辽宁大学学报(自然科学版)，2019，46(2)：142-150.

[26] DROBNY A，MELOH H，WACHTERSHAUSER E，et al. Betaine-rich sugar beet molasses protects from homocysteine-induced reduction of survival in Caenorhabditis elegans[J]. European Journal of Nutrition，2020，59(2)：779-786.

[27] OKADA T，KAWAKAMI S，NAKAMURA Y，et al. Amelioration of *D*-galactosamine-induced acute liver injury in rats by dietary supplementation with betaine derived from sugar beet molasses[J]. Bioscience，Biotechnology，and Biochemistry，2011，75(7)：1 335-1 341.

[28] 田小霞，来丽娜，陈云霞，等. 甜菜碱对肝硬化大鼠肝脏巨噬细胞极化的影响[J]. 中国临床药理学与治疗学，2016，21(9)：961-967.

[29] WANG Hai-chao，LI Si-si，XU Shu-yi，et al. Betaine improves growth performance by increasing digestive enzymes activities，and enhancing intestinal structure of weaned pig-

lets[J]. Animal Feed Science and Technology, 2020, 267: 114545.

[30] YUSUF M S, EL NABTITI A A, HASSAN M A, et al. Supplementary outcomes of betaine on economic and productive performance, some biochemical parameters, and lipoprotein lipase gene expression in finishing male broilers[J]. International Journal of Veterinary Science and Medicine, 2018, 6(2): 213-218.

[31] OMER N A, HU Y, IDRISS A A, et al. Dietary betaine improves egg-laying rate in hens through hypomethylation and glucocorticoid receptor-mediated activation of hepatic lipogenesis-related genes[J]. Poultry Science, 2020, 99(6): 3 121-3 132.

[32] 台一鸿, 石良. 功能性低聚糖的生理功能及应用研究进展[J]. 食品安全导刊, 2019(12): 175-177.

[33] 董爱军, 张捷. 甜菜中的功能性低聚糖:棉实糖[J]. 中国甜菜糖业, 2001(3): 24-26.

[34] 华欲飞, 宋伟光, 孔祥珍, 等. 一种从废弃物中回收棉籽糖的工业化方法: 107936067A[P]. 2018-04-20.

[35] 贺晨. 四种功能糖对小鼠益生作用研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020: 60-63.

[36] 姜宝森. 棉籽糖对小鼠肠道总抗氧化水平丙二醛含量和肠道菌群的影响[J]. 当代畜牧, 2017(6): 31-33.

[37] 徐大专, 李振. 棉籽糖对大鼠免疫功能及抗氧化作用的影响[J]. 中国兽医杂志, 2019, 55(2): 36-38.

[38] 热娜古丽·木沙, 魏佼. 甜菜及副产品中功能性神经酰胺脂质的测定[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(13): 23-25.

[39] 孔维星, 李功迎. 神经酰胺与抑郁症的相关性研究进展[J]. 四川精神卫生, 2019, 32(1): 74-77.

[40] 张敏, 沈彤. 神经酰胺与肥胖相关疾病防治的研究进展[J]. 安徽医科大学学报, 2020, 55(1): 146-149.

[41] 王贺聪, 何聪芬. 皮肤中神经酰胺的研究及应用现状[J]. 日用化学工业, 2019, 49(1): 51-57.

[42] SAKAI Y, SATO M, FUNAMI Y, et al. Peyer's patch-immunomodulating glucans from sugar cane enhance protective immunity through stimulation of the hemopoietic system[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 124: 505-514.

[43] TOCHIO T, UENO Y, KITAURA Y, et al. Feeding of 1-kestose induces glutathione-S-transferase expression in mouse liver[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2019, 8(2): 69.

(上接第 194 页)

[5] 唐军, 唐丽, 文里梁, 等. 烟叶松散回潮工艺参数和出料质量的贝叶斯网络模型构建与预测[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 207-210.

[6] 庄嘉盛. 特征工程入门与实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019: 42-70.

[7] 闫星宇, 顾汉明, 肖逸飞, 等. XGBoost 算法在致密砂岩气储层测井解释中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(2): 447-455.

[8] 张家棋, 杜金. 基于 XGBoost 与多种机器学习方法的房价预测模型[J]. 现代信息科技, 2020(10): 15-18.

[9] 景钦隆, 吴琦琳, 鲁影, 等. 手足口病流行时间序列模型及其与气象因素联合预测研究[J]. 中国卫生统计, 2020, 37(3): 354-358.

[10] NARI S A, DIANE A, MICHAEL F. Application of SARIMAX model to forecast daily sales in food retail industry[J]. International Journal of Operations Research and Information Systems, 2016, 7(2): 1-21.

[11] 李自娟, 刘博, 高杨, 等. 卷烟制丝环节关键工序水分预测模型的建立与检验[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 190-196.

[12] 田润泽. 基于多种机器学习算法的波士顿房价预测[J]. 中国新通信, 2019, 21(11): 228-230.

[13] 许明燕. 基于 ARIMA 模型和 BP 神经网络模型的江苏省 GDP 预测分析[D]. 济南: 山东大学, 2020: 18-21.

[14] 刘承子, 刘丽英. 基于蒙特卡洛仿真在确定标准工作量中的仿真过程及分析[J]. 物流工程与管理, 2019, 41(11): 94-95.

(上接第 199 页)

[17] 乔学义, 姚光明, 王兵, 等. 气流干燥工序加工强度对烤烟烟叶感官质量的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(7): 54-57, 83.

[18] 乔学义, 姚光明, 王兵, 等. 滚筒干燥工序加工强度对烤烟烟叶感官质量影响研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 290-295.

[19] 谢剑平. 烟草香料技术原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 145-146.

[20] 甘学文, 王光耀, 邓仕彬, 等. 美拉德反应中间体对卷烟评吸品质的影响及其风味受控形成研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 46-52.

[21] 王玉华, 褚建忠, 徐丙升, 等. 烤烟自然醇化过程美拉德反应产物变化及与感官质量的关系[J]. 中国烟草科学, 2015(4): 85-90.

[22] 郭华诚, 张月华, 李阳光, 等. 烟丝挥发性香味物质与卷烟感官质量的相关性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 209-212.

[23] 刘泽, 何邦华, 杨蕾, 等. "干头干尾"烟丝挥发性香味物质的主成分聚类分析[J]. 烟草科技, 2015(2): 47-52.

[24] 高云, 郁志芳. 基于主成分分析的芹菜品质评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 308-314, 320.

[25] YU Na, SHENG Ke, SUN Xie-kun, et al. Principal component cluster analysis of aroma components in cut tobacco strips under different drying intensities[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(2): 29-35.