

甜菜根的生物活性化合物及其在食品加工工业中的应用: 批判性综述

纳夫尼迪门, 科马尔夏尔马, 帕拉斯查布拉, 约格什·库什瓦哈
食品与人类营养科学中心, 印度海得拉巴

摘要: 甜菜根被认为是促进健康的食品, 因为它含有促进健康的基本成分, 如维生素、矿物质、酚类物质、类胡萝卜素、硝酸盐、抗坏血酸和甜菜碱。甜菜碱以两种形式出现, 即 betacyanin (红紫色色素) 和 betaxanthin (黄橙色色素), 由于非不稳定、无毒、非致癌和无毒的性质, 在商业上被认为是一种食用染料。甜菜根被预先设计为食品工业的福音, 并用作食品着色剂或食品添加剂, 如冰淇淋、酸奶和其他产品。甜菜根提取物用于改善番茄酱、汤、酱汁、甜点、果酱、果冻、糖果和早餐麦片的发红。本综述的总体目标是简要介绍甜菜根中存在的有价值的植物化学物质和生物活性化合物, 以及它们与健康益处、用于食品应用的甜菜根加工及其对甜菜根色素的影响的关系。

关键词: 甜菜碱; 天然着色剂; 无毒; 食品加工

Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review

Navnidhi Gat, Komal Sharmab, Paras Chhikaraa, Yogesh Kushwahaa
Food and Human Nutritional Sciences Centre, Hyderabad, India

Abstract: Beetroot is recognized as health promoting food due to presence of essential components such as vitamins, minerals, phenolics, carotenoids, nitrate, ascorbic acids and betalains that promote health. Betalains occur in two forms i.e. betacyanin (red-violet pigment) and betaxanthin (yellow-orange pigment) and are recognizable commercially as a food dye due to non-precarious, non-toxic, non-carcinogenic and non-poisonous nature. Beetroot is premeditated as a boon for the food industry and used as food colorant or additive in food products such as ice-cream, yogurts and other products. The beetroot extract is used to improve the redness in tomato pastes, soups, sauces, desserts, jams, jellies, sweets and breakfast cereals. Overall objective of this review is to provide a brief knowledge about the valuable phytochemicals and bioactive compounds present in beetroot and their association with health benefits, beetroot processing for food application and their effect on beetroot pigment.

Keywords: Betalains, Natural colorant, Non-toxic, Food processing

引言:

甜菜根 (*Beta vulgaris* L.) 是藜科、二年生草本开花植物, 原产于亚洲和欧洲。它是一种块根蔬菜, 有不同的品种, 鳞茎颜色从黄色到红色不等。在商业上, 市场上有 *Beta vulgaris* 的三个亚种, 包括 *B. maritima*、*B. vulgaris* 和 *B. adanensis*, 通常称为红甜菜、甜菜、花园甜菜、餐桌甜菜、金甜菜或甜菜。它们在整个季节生产, 并以沙拉、泡菜或果汁的形式在世界各地广泛消费。它们还已知含有大量营养和生物活性化合物, 例如硝酸盐、

酚类、抗坏血酸、维生素、矿物质、碳水化合物、纤维、蛋白质、必需氨基酸、脂肪酸、植物甾醇、生物碱、类固醇、类胡萝卜素和已知的水溶性色素作为甜菜碱。据报道, 甜菜根提取物和果汁具有多种生物活性, 包括抗氧化、抗压力、抗焦虑、抗高血压、抗炎、抗糖尿病、抗癌、抗肥胖和降脂作用。

甜菜根也因其天然的红紫色色素而闻名, 称为甜菜碱。它们是属于石竹科的水溶性含氮色素, 具有比花青素强的抗氧化性和着色力。它们主要由两组化合物组成:

红紫色甜菜青素和橙黄甜菜黄素色素。Betalamic acid 是所有甜菜碱色素的核心结构, 源自二羟基苯丙氨酸 (DOPA) 的芳环裂解。甜菜根的颜色很大程度上取决于甜菜青素/甜菜黄素的色素浓度比, 通常在 1 到 3 之间。甜菜青素进一步分为甜菜素、异甜菜素和新甜菜素, 而主要的甜菜素被命名为 vulgaxanthin I、vulgaxanthin II 和 indicaxanthin。甜菜碱已被用作各种食品中的天然食品着色剂以及功能性食品和饮料的配方。

2018 年世界甜菜根年产量记录为 2.74 亿吨, 前五名生产国是法国、美国、俄罗斯、德国和乌克兰。Merreddy 等人报告说, 大约 85% 的甜菜根被加工 (切片), 而由于质量不合格, 将近 30% 的甜菜根被浪费掉了。因此, 利用甜菜根加工废料和未充分利用的甜菜根提取色素是一种增值选择。可以简单地通过水浸渍从甜菜根中提取色素, 但是甜菜根中蛋白质和碳水化合物的含量限制了水作为提取溶剂的使用。因此, 已将乙醇或甲醇添加到水溶剂中以进行有效的提取过程。包括传统技术和新兴技术在内的各种提取技术已被用于获得更高的色素提取率。根据 Galanakis 从食物垃圾中分离感兴趣的生物活性化合物通常遵循五个通用回收阶段, 例如 i) 宏观预处理, ii) 大分子和微分子分离, iii) 提取, iv) 分离和纯化, 以及 v) 产品形成。由于染料对降解的高度敏感性, 颜料的提取和分离是一个重要且关键的过程。已经报道了影响甜菜碱化学稳定性的几个内在和外在因素, 包括 pH 值、温度、水分活度、光和金属。

一、甜菜根的营养成分

蔬菜含有大量的必需营养素, 如维生素、矿物质、纤维; 植物化学物质和促进健康的好处。甜菜根是重要的根茎类蔬菜之一, 富含碳水化合物、脂肪、蛋白质、微量营养素和多种功能成分, 具有显着促进健康的特性。甜菜根加工和产品消费由于其被公认为天然抗氧化剂的重要来源而稳步增长。

大量营养素

研究表明, 新鲜甜菜根的营养成分因品种、遗传、生态条件和收获条件的不同而不同。早期研究报告, 甜菜根含有淀粉、果糖、蔗糖、葡萄糖、膳食纤维等碳水化合物 (9.96g/100g); 蛋白质 (1.68g/100g)、脂肪 (0.18g/100g) 和叶子还含有碳水化合物 (5g/100g)、淀粉 (4.5g/100g) 和蛋白质 (14.8mg/100g)。甜菜根含有相当数量的必需和非必需氨基酸。这些是色氨酸 (0.019g)、异亮氨酸 (0.048g)、亮氨酸 (0.068g)、赖氨酸 (0.058g)、苏氨酸 (0.047g)、蛋氨酸 (0.018g)、苯

丙氨酸 (0.046g)、酪氨酸 (0.038g)、缬氨酸 (0.056g)、胱氨酸 (0.019g)、精氨酸 (0.042g)、组氨酸 (0.021g)、丙氨酸 (0.060g)、谷氨酸 (0.428g)、甘氨酸 (0.031g)、脯氨酸 (0.042g)、天冬氨酸每 100 克可食部分酸 (0.116 克) 和丝氨酸 (0.059 克)。每 100 克可食部分甜菜根含有总饱和脂肪酸 (0.027g)、总单不饱和脂肪酸 (0.032g)、总多不饱和脂肪酸 (0.060g) 和植物甾醇 (25mg)。

微量营养素

微量营养素由维生素和矿物质组成。早期研究报告称, 甜菜根含有多种维生素, 如维生素 A (2 μg)、硫胺素 (0.31mg)、核黄素 (0.27mg)、烟酸 (0.331mg)、泛酸 (0.145mg)、维生素 B6 (0.067mg)、抗坏血酸 (3.6mg)、叶酸 (80 μg) 和矿物质, 如钠 (77mg)、钙 (16mg)、铁 (0.79mg)、磷 (38mg)、钾 (305mg)、镁 (23 mg) 和锌 (0.35mg) 每 100g 可食用部分。此外, 甜菜叶比甜菜根更有营养。甜菜叶含有维生素 A (3.93mg)、维生素 K (280mg) 等维生素, 矿物质包括钙 (2220mg)、铁 (16.90mg)、镁 (350mg)、钾 (1400mg) 和磷 (330mg) 每 100 克。这些用于降低血压, 对心血管健康很重要, 并作为对抗癌症的工具。最近的一项研究还观察了蛋白质提取的有效性; 甜菜根叶的生化筛选及甜菜植物提取物的抗菌和抗氧化活性。

二、甜菜根中的生物活性化合物

甜菜根含有高活性色素、甜菜碱、抗坏血酸、类胡萝卜素、多酚、类黄酮、皂苷和高水平的硝酸盐 (644-1800mg/kg)。一些生物活性化合物的含量很低, 例如甘氨酸、甜菜碱和叶酸。

酚类化合物

酚类化合物是一大类植物次级代谢物, 对植物性食品的质量具有重要意义。甜菜根含有大量的酚类化合物和类黄酮。据报道, 甜菜根中酚酸的总含量为 50-60 μmol/g 干重。此外, 甜菜根皮具有第二高的总酚干重浓度。从红甜菜根果皮中分离出的高度不稳定的酚类化合物是 5, 50, 6, 60-四羟基-3, 30-二吡啶基; 由 vulgaxanthin I、vulgaxanthin II、indicaxanthin、prebetanin、isobetainin、betanin 和 neobetainin 组成的 5, 6-dihydroxyindolecarboxy acid 和 betalains 的二聚体。此外, 从甜菜根的种子壁中分离出两种酚酰胺 N-反式阿魏酰酪胺和 N-反式阿魏酰高香草胺。Beta vulgaris var. cicla 含有大量的羟基苯甲酸和羟基肉桂酸衍生物, 这是酚酸的两大类。这些酚酸是表儿茶素、儿茶

素水合物、芦丁、香草酸、对香豆酸、原儿茶酸、咖啡酸、丁香酸、脯氨酸和单萜氢-伏米叶醇。在完整的 *B. vulgaris* cv. 的甜菜碱提取物中发现了酚类化合物。底特律深红植物提取物含有 4-羟基苯甲酸 (0.012mg/g)、绿原酸 (0.018mg/g)、咖啡酸 (0.037mg/g)、儿茶素水合物 (0.047mg/g)、表儿茶素 (0.032mg/g) 和芦丁 (0mg/g), 而毛根培养物的提取物含有 4-羟基苯甲酸 (0.396mg/g)、绿原酸 (0.0mg/g)、咖啡酸 (0.203mg/g)、儿茶素水合物 (0.372 mg/g)、表儿茶素 (0.857mg/g) 和芦丁 (1.096mg/g)。使用 HPLC 对底特律甜菜根渣提取物中的酚类含量进行定量, 结果表明阿魏酸 (132.52mg)、香草酸 (5.12mg)、对羟基苯甲酸 (1.13mg)、咖啡酸 (7.11mg)、原儿茶酸 (5.42 mg)、儿茶素 (37.96mg)、表儿茶素 (0.39mg) 和芦丁 (0.25mg) 每 100 克甜菜根渣干重。表 1 简要介绍了这些酚类化合物的健康益处。Vasconcellos 及其同事比较了甜菜根汁、薯片、粉末和煮熟的甜菜根中的总酚含量。根部一般含有最少的酚类化合物。据报道, 甜菜根汁 (3.67GAEmg/g) 和熟甜菜根 (2.79GAEmg/g) 的总酚含量高于甜菜根片 (0.75GAEmg/g) 和粉末 (0.51GAEmg/g) 由于损失干燥过程中的化合物。

-黄酮类化合物

黄酮类化合物是具有良好抗氧化潜力和众多健康益处的生物活性化合物。Vulic 等人报道, 甜菜根中的主要黄酮类化合物是 betagarin、betavulgarin、cochliophilin A 和 dihydroisorhamnetin。从甜菜根叶中分离出两种黄烷酮, 即 betagarin (5, 2-dimethoxy-6, 7-methylenedioxyflavanone) 和 betavulgarin (2'-hydroxy-5-methoxy-6, 7-methylenedioxyisoflavone)。从甜菜根中分离的其他类黄酮化合物是 3, 5-二羟基-6, 7-亚甲二氧基黄烷酮、5-羟基-6, 7-亚甲二氧基黄酮、2, 5-二羟基-6 和 7-亚甲二氧基异黄酮。*B. vulgaris* ssp 的乙酸乙酯部分。perennis 报道的是槲皮素、芦丁和 4'-羟基-5-甲氧基-6, 7-亚甲二氧基黄烷酮。

-皂苷

皂苷是植物产生的生物活性化合物, 用于对抗病原体和食草动物。早期研究在 *B. vulgaris* 中发现了 11 种三萜皂苷。所有皂苷都包括齐墩果酸衍生物。Betavulgarosides I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII 皂苷从根中鉴定, 而 betavulgarosides I、II、III、IV、V、IX 和 X 皂苷在叶子中鉴定。Mikolajczyk-Bator 等人还报道了 26 种三萜皂苷在甜菜根中的特征, 其中 17 种三萜皂

昔以前未在甜菜根中报道过, 7 种三萜皂昔被鉴定为新化合物。

植物化学物质

果皮提取物中的植物化学成分为 5, 5, 6, 6-tetrahydroxy-3, 3-biindolylandin, *B. vulgaris* ciela 地上部分的植物化学成分为去甲戊二烯 (+)-dehydrovomifoliol 和 3-hydroxy-5 α , 6 α -epoxy- β -紫罗兰酮。聚 3-羟基链烷酸酯组分是从甜菜根中分离得到的, 它由 3-羟基丁酸酯组成, 分子量 (Mn=9, 124Da), 多分散指数 (PDI) 等于 1.01。甜菜根叶含有甜菜素, 甜菜素是病毒诱导型 I 型核糖体失活蛋白, 由具有不同糖基化程度的单一多肽链组成。这些化合物对人体有生理作用, 对人体健康具有重要意义。

甜菜碱

甜菜碱是水溶性含氮植物色素。两种甜菜碱, 即甜菜青素 (红色色素) 和甜菜红素 (黄色色素) 化合物已经基于它们的化学结构和组成。甜菜根是甜菜碱色素最丰富的来源之一, 用于赋予理想的红色或黄色。甜菜根的品种和红色度取决于甜菜青素和甜菜黄素的比率。Betaxanthin 进一步分为两种类型, 即 vulgaxanthin-I 和 vulgaxanthin-II。在甜菜根的果皮中发现了儿种甜菜青素, 例如甜菜素、前甜菜素、异甜菜素和新甜菜素。总甜菜青苷中约 75-95% 的甜菜昔被认为是甜菜根的活性化合物。Betalain 合成过程从酪氨酸开始。酪氨酸的大量积累 (由酪氨酸羟化酶羟基化) 产生二羟基苯丙氨酸 (DOPA), 通过酪氨酸酶催化的二酚/多巴氧化酶活性将其转化为环多巴。 β -氨基甲酸是由多巴的芳香环断裂形成的。Betacyanin 是通过环多巴与 Betaamic acid 缩合形成的, 而 betaxanthin 是通过氨基酸与 betaamic acid 缩合获得的。甜菜青素是非糖基化的甜菜素或异甜菜素生色团。整个生物合成过程涉及酪氨酸酶和多巴两种关键酶。早期研究分析了来自毛根培养物和完整的 *B. vulgaris* cv. 的甜菜碱提取物中的甜菜碱含量。底特律深红色植物。完整的甜菜根植物提取物产生 39.76 \pm 0.98mg/g 的甜菜素干提取物 (DE) (20.75mg/g 的 DE 甜菜花青素和 19.01mg/g 的 DE 甜菜红素), 而毛根提取物含有 47.11mg 的甜菜素/g DE (16.33mg/g DE betacyanins 和 30.78mg/g DE betaanthin)。与完整的 *B. vulgaris* cv. 相比, 来自毛根的提取物具有更高的甜菜碱含量。底特律深红色植物。甜菜根压榨汁中甜菜素的个别含量数据为: vulgaxanthin-I (104.1mg/100g)、vulgaxanthin-II (57.4mg/100g)、betanin (312.5mg/100g)、isobetainin

(71.3mg)/100g)、甜菜苷(18.2mg/100g)和异甜菜苷(4.6mg/100g)。甜菜碱总含量为606.34mg/100g干物质。

类胡萝卜素

类胡萝卜素是一组植物化学物质,可以使水果和蔬菜呈现出不同的颜色,在预防致命疾病方面发挥着至关重要的作用。甜菜根中的类胡萝卜素可作为抗氧化剂、抗癌剂和免疫增强剂。广泛分布在甜菜根中的类胡萝卜素是有效的抗氧化剂。据报道,它们具有诱变抑制活性,可降低患癌症的风险。甜菜根叶含有 β -胡萝卜素和称为叶黄素的氧化衍生物,例如叶黄素。Rebecca等人报道甜菜根中含有1.9mg/100g的胡萝卜素。

三、抗氧化活性

甜菜根是抗氧化剂的金矿,就像许多其他有色蔬菜一样。Fidelis等人证明,甜菜根汁(pH值5.45,白利糖度9°)具有更高的总酚(1169mg GAE/L)、类黄酮(925mg儿茶素当量/L)和色素(854mg/L),具有更好的抗氧化性与柑橘类水果、黄色百香果、苹果和蔓越莓相比,观察到的DPHH(325mg抗坏血酸当量/L)分布。已发现甜菜素及其苷元甜菜碱具有很强的抗氧化活性,并发现可有效防止脂质过氧化。Vasconcellos等人报道了甜菜根片(95.70%)、甜菜根粉(95.31%)、熟甜菜根(85.79%)和甜菜根汁(80.48%)的总抗氧化活性。甜菜根片和甜菜根粉之间没有显著差异,其值高于煮熟的甜菜根和甜菜根汁。

四、甜菜根的健康益处

甜菜根含有大量生物活性化合物,这些化合物具有天然的抗贫血、抗炎、抗高血压、抗氧化、抗癌、解热、抗菌、解毒和利尿的特性。这些特性由甜菜根植物的不同部分表达。

甜菜碱通过隔离受损组织而具有广谱的治疗、抗癌、保肝和抗肿瘤特性,对正常细胞系没有明显影响。甜菜碱色素在肺癌和皮肤癌的化学预防中的作用已被证实并报道它可以阻碍各种人类肿瘤细胞的细胞增殖。甜菜根中的黄酮类化合物如牡荆素、牡荆素-2-O-鼠李糖苷和牡荆素-2-O-木糖苷对癌细胞系表现出优异的抗增殖活性。它们发挥抗癌活性,轻微降低炎症反应并调节免疫反应。

甜菜根中的硝酸盐具有降低血压、防止缺血再灌注损伤和调节线粒体功能的能力。它可以降低坏胆固醇、氧化的低密度脂蛋白胆固醇并使血压正常化。甜菜根提取物具有抗高血压和降血糖活性。甜菜碱的功能是降低同型半胱氨酸浓度,调节血管稳态,维持血小板功能、

血栓形成活性、血管张力和血管扩张剂和血管收缩剂释放之间的微妙稳定性。内皮功能障碍的危险因素是与高血压和动脉粥样硬化有关的心血管疾病。

在饮食中吃甜菜根可以减少炎症的机会(一种先天反应,包括感染、红斑、水肿、创伤、发烧和由于抗原引起的细胞损伤而引起的疼痛)。Betalains提取物可保护血管的纤细内层并减少炎症,而目前的药物疗法与不良副作用有关。阐明了甜菜根乙醇提取物对庆大霉素诱导的肾毒性的抗炎作用。煮沸甜菜根后的水是皮肤感染和粉刺和脓疱爆发的绝佳应用。甜菜根是整个消化系统的健康促进剂。潜在机制基于裂解的caspase 3、Bax的显著减少和Bcl-2蛋白表达的增加。红甜菜提供刺激造血、免疫系统、肾脏和肝脏保护的植物化学物质。

甜菜根中的植物化学物质有助于减少与年龄相关的氧化应激,并有助于维持认知功能,如感知、学习、交流和决策。甜菜根是一种一氧化氮(NO)发生器,具有改善脑血管流量的潜力。据报道,膳食硝酸盐(NO₃⁻)补充剂会影响大脑血流动力学,增强对视觉刺激的神经血管耦合,并改善与执行功能相关的大脑区域的灌注。甜菜根的消耗使血浆硝酸盐水平提高了约96%。当吞入胃的酸性介质时,一些亚硝酸盐转化为一氧化氮,而剩余的亚硝酸盐被吸收以增殖循环血浆亚硝酸盐

五、用于食品应用的甜菜根加工

2015年全球功能性食品和饮料市场价值为1293.9亿美元,并以约8.6%的CAGR(复合年增长率)增长。各种研究人员和食品工业对甜菜根在食品应用中的使用进行了调查,因为其颜色、风味和营养方面的普遍影响使其成为超级食品和奇迹蔬菜。深红色的甜菜被用作人类的食物来源,既可以生做沙拉,也可以煮熟做炖菜。世界各地都食用甜菜根。在东欧,甜菜根汤是一种受欢迎的食物,而腌甜菜是南美洲的传统食品。如今,大部分甜菜根在商业上用于生产泡菜。小部分甜菜根用作汁液。在澳大利亚三明治中,甜菜根很常见。甜菜根的新鲜叶子和茎被蒸熟食用,老茎被炒。甜菜根可被视为合成着色剂的替代品,并可成为食品行业的营销工具。消费者也倾向于使用较少合成添加剂的绿色消费主义。天然着色剂被认为是可以安全食用的物质。因此,天然着色剂比合成着色剂更受期待作为食品添加剂的商业应用。合成着色剂对人体健康有负面影响,长期食用会引起过敏和致癌反应。天然色素是水溶性的,有助于它们融入水性食品系统。与这种天然食品着色剂一起,由于有效的抗氧化剂,它们更有吸引力,提高了视力特性并具有潜

在的健康影响。对于食品和饮料制造商来说,甜菜主要以两种主要形式存在:磨碎的脱水甜菜和甜菜汁。脱水甜菜研磨成粉末和甜菜汁可以喷雾干燥成粉末形式。新鲜的甜菜根或甜菜根粉或提取的色素用于增强番茄酱、汤、酱汁、甜点、果酱、果冻、糖果冰淇淋和早餐麦片的红色。

甜菜根汁用于为各种食品着色,如乳制品、酸奶、加工奶酪和糖果。它在热处理时会变色,因此仅用于冰淇淋、糖果和其他糖果。它可以在蛋黄酱配方中实施,无论是生的还是冷冻干燥的形式,都可以代替合成抗氧化剂。甜菜根汁的膳食补充剂可增强对高强度运动和体育活动的耐受性。甜菜根颜色没有过敏或其他副作用,而且价格便宜。在各种研究中,甜菜根被用于制造不同的食品。

甜菜用于制造糖,其副产品如果肉、糖浆、纤维等用作饲料。当在畜牧生产区种植甜菜根时,植物的绿色也可用作饲料。高度复杂的制糖过程从冲洗、冲洗开始,到精炼厂结束,该过程的最终产品是糖、糖蜜和甘蔗渣。糖蜜用于酒精生产和其他形式的发酵。纤维通常是剩余部分,即(甘蔗渣-水分-蔗糖和其他可溶性固体-灰分)。

六、加工对生物活性化合物的影响

加工方法对植物化学物质的抗氧化活性和生物可及性有显著影响。甜菜根加工(如真空微波干燥、发酵和辐射)增强了抗氧化能力和色素稳定性,而热风干燥则降低了保色性。影响抗氧化剂或甜菜碱色素在加工和储存过程中稳定性的因素是 pH 值、温度、水活度氧、金属和离子辐射。已证实甜菜碱降解的一级反应。

酸碱度

甜菜碱的最佳稳定性在 3 到 7 的 pH 范围内得到证实,表明它可用于不同的食品配方,尤其是酸性食品。甜菜碱在 5 pH 的提取物中是稳定的,然而,低于 3 的 pH 值,甜菜碱的颜色向紫色移动,高于 pH 7,由于波长较长,颜色向蓝色移动。甜菜碱在碱性条件下通过水解醛亚胺键产生具有氨基的阿魏酸而降解。发现在荧光灯下,在 pH 3 时甜菜素的降解率是 pH 5 时的三倍。发现在氧气存在下,甜菜碱在 pH 5.5 和 5.8 之间更稳定。在厌氧条件下,甜菜碱在 4-5 pH 下是稳定的。

水活度

水分活度控制生化转化率。水分活度通过控制醛亚胺键断裂的水依赖性水解反应来影响甜菜碱稳定性。在喷雾干燥和浓缩等不同加工处理过程中水分活度的降低

(低于 0.63) 提高了甜菜碱的稳定性。水分活度从 0.32 提高到 0.75 会提高甜菜碱降解率。然而,在封装的甜菜根色素中,甜菜苷的最高降解发生在 a_w 0.64。

温度

热处理通常用于开发不同的加工产品。温度会影响甜菜碱的稳定性,温度升高会导致甜菜碱降解以及 PPO (多酚氧化酶) 酶的降解。然而,热降解也受温度范围、加热程度、氧气存在和颜料浓度的影响。

光

颜色在光的存在下被氧化和降解。在 2200 - 4400lux 范围内的光强度与甜菜碱稳定性之间存在反向关系。紫外和可见光范围内的光的浸入将甜菜碱发色团的电子激发到更高能量的状态,从而引发更高的反应性或降低分子的活化能。然而,在厌氧条件下,光效应可以忽略不计。

金属

一些金属阳离子被确定为促进或加速甜菜碱降解,如铁、铜、锡和铝等。早期研究表明,由于存在金属络合剂,甜菜根汁不易受金属离子的影响。据报道,螯合剂(柠檬酸和 EDTA)可以稳定甜菜碱,防止金属催化降解。

结论:

甜菜根因其高营养和药用价值而在世界各地以生的和熟的形式种植和食用。甜菜根提供有价值的必需营养素和足量的有益生物活性化合物,有助于促进健康、预防疾病和治疗反应。在过去的几十年中,生物活性化合物的抗氧化活性和甜菜根在疾病预防和健康促进中的成功利用得到了提高。需要进一步研究以探索和利用甜菜根中存在的天然着色剂、抗氧化剂和膳食纤维用于功能性食品配方。甜菜根果肉中的大量生物活性化合物可作为功能性食物来源,用于对抗糖尿病、癌症、心血管疾病和其他各种氧化应激诱发的慢性疾病等多种疾病。Beta vulgaris 可用于制作不同的创新增值产品,使消费者可以通过加入 Beta vulgaris 的食品获得健康益处。

参考文献:

- [1]Aamand et al., 2013 R. Aamand, T. Dalsgaard, Y.C.L. Ho, A. Moller, A. Roepstorff, T.E. Lund A NO way to BOLD?: Dietary nitrate alters the hemodynamic response to visual stimulation Neuroimage, 83 (2013), pp. 397-407
- [2]Agarwal and Varma, 2014 K. Agarwal, R. Varma. Biochemical screening of beetroot leaves International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 1 (2014), pp. 127-134

- [3]Amnah, 2013. M.A. Amnah. Nutritional, sensory and biological study of biscuits fortified with red beet roots. *Life Science Journal*, 10 (2013), pp. 1579–1584
- [4]Arnaud et al., 2010. J.F. Arnaud, S. Fenart, M. Cordellier, J. Cuguen. Populations of weedy crop–wild hybrid beets show contrasting variation in mating system and population genetic structure. *Evolutionary Applications*, 3 (2010), pp. 305–318
- [5]Chadwick et al., 2013. M. Chadwick, H. Trewin, F. Gawthrop, C. Wagstaff. Sesquiterpenoids lactones: Benefits to plants and people. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (2013), pp. 12780–12805.
- [6]Chhikara et al., 2018. N. Chhikara, H.R. Devi, S. Jaglan, P. Sharma, P. Gupta, A. Panghal. Bioactive compounds, food applications and health benefits of *Parkia speciosa* (stinky beans): A review *Agriculture & Food Security*, 7 (1) (2018), p. 46
- [7]Ciz et al., 2010. M. Ciz, H. Cizova, P. Denev, M. Kratchanova, A. Slavov, A. Lojek. Different methods for control and comparison of the antioxidant properties of vegetables. *Food Control*, 21 (2010), pp. 518–523
- [8]Clifford et al., 2015. T. Clifford, G. Howatson, D.J. West, E.J. Stevenson. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7 (2015), pp. 2801–2822
- [9]Adadi et al., 2018. P. Adadi, N.V. Barakova, E.F. Krivoshapkina. Selected methods of extracting carotenoids, characterization, and health concerns: A review *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (24) (2018), pp. 5925–5947, 10.1021/acs.jafc.8b01407
- [10]Alshehry, 2019. G.A. Alshehry. Utilization of beetroot as a natural antioxidant, pigment and antimicrobial in cupcake during the storage period. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8 (10) (2019), pp. 652–659