

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240328008

茶叶中游离氨基酸的检测与其生物活性研究进展

张致玮^{1,2,3}, 李 梁¹, 杨小俊², 次仁德吉², 余永新³, 张唐伟^{2*}

(1. 西藏农牧学院食品科学学院, 林芝 860000; 2. 西藏自治区农牧科学院农业质量标准与检测研究所, 拉萨 850032;
3. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 北京 100081)

摘 要: 游离氨基酸作为茶叶中的重要呈味物质, 其不同组分的含量差异会直接影响茶叶的口感特性, 是影响茶叶品质主要因素之一。因其呈味的重要性, 对茶叶中游离氨基酸进行准确定性定量是茶叶研究中的重要环节。随着现代检测方法的不断发展迭代, 针对茶叶中游离氨基酸的检测逐渐由常规的氨基酸自动分析仪检测法、高效液相色谱法和毛细管电泳法等, 演变到更准确高效的核磁共振法和液相色谱-质谱法等新兴检测方法。新兴检测方法的应用促进了对茶叶游离氨基酸生物活性, 包括抗肿瘤、抗氧化、神经保护和改善睡眠等作用的深入研究, 这些生物活性也具有重要的研究价值。本文综述了茶叶中游离氨基酸的检测方法以及生物活性研究进展, 以期对茶叶中游离氨基酸的进一步研究提供参考。

关键词: 茶叶; 游离氨基酸; 检测; 生物活性

Research progress on detection and biological activity of free amino acids in tea

ZHANG Zhi-Wei^{1,2,3}, LI Liang¹, YANG Xiao-Jun², CIRENDEJI²,
SHE Yong-Xin³, ZHANG Tang-Wei^{2*}

(1. School of Food Science, Xizang Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China; 2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China; 3. Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: Free amino acids, as crucial flavor compounds in tea, play a significant role in determining the taste characteristics of tea. The content differences of various amino acid components directly affect the taste profile of tea and are among the primary factors influencing tea quality. Due to their importance in flavor, accurate and precise quantification of free amino acids in tea is a crucial step in tea research. With the continuous development and iteration of modern detection methods, the detection of free amino acids in tea has evolved from conventional methods such as amino acid auto analyzers, high performance liquid chromatography, and capillary electrophoresis to more accurate and efficient emerging techniques like nuclear magnetic resonance and liquid chromatography-mass spectrometry. The application of these advanced detection methods has facilitated in-depth research on the bioactivities of free amino acids in tea, including anti-tumor, antioxidant, neuroprotective, and sleep-improving

基金项目: 西藏自治区重点研发项目(XZ202101ZY0004N)、西藏农牧学院研究生创新计划项目(YJS2023-07)

Fund: Supported by the Xizang Autonomous Region Key Research and Development Project (XZ202101ZY0004N), and the Xizang Agriculture and Animal Husbandry College Postgraduate Innovation Plan (YJS2023-07)

***通信作者:** 张唐伟, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农畜产品品质分析研究。E-mail: zhangtangwei04@163.com

***Corresponding author:** ZHANG Tang-Wei, Master, Associate Professor, Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China. E-mail: zhangtangwei04@163.com

effects. These bioactivities also hold significant research value. This article reviewed the detection methods of free amino acids in tea and the progress of research on their bioactivities, aiming to provide references for further studies on free amino acids in tea.

KEY WORDS: tea; free amino acids; detection; biological activity

0 引言

茶叶是一种起源于中国, 由茶青经加工制作而成的产品^[1]。其历史悠久, 最早被用于祭祀, 随着茶叶产量的增加和加工技术的发展, 多品类的茶叶逐渐普及至普通群众^[2], 成为当下人们的日常饮料^[3]。

茶叶不仅因其独特的口感风味而备受推崇, 还因其含有丰富的游离氨基酸(free amino acids, FAA)、茶多酚(green tea polyphenols, GTP)与茶多糖(tea polysaccharides, TPS)等活性成分对人类健康具有重要作用^[4]。其中, 游离氨基酸主要包括茶氨酸(theanine, Thea)、谷氨酸(glutamate, Glu)、精氨酸(arginine, Arg)、丝氨酸(serine, Ser)、天冬氨酸(aspartate, Asp)等在内的二十余种氨基酸^[5], 其中茶氨酸是游离氨基酸中最主要的氨基酸, 占总游离氨基酸(total free amino acids, TFAA)总量的 50%~70%左右^[6], 基本代表茶叶中游离氨基酸的生物活性。茶氨酸具有多种生物活性, 包括抗肿瘤作用、抗氧化作用、神经保护作用和改善睡眠作用等^[7]。本文通过总结茶叶中游离氨基酸的检测方法, 为后续检测方法的改进与革新提供一定的参考价值, 并梳理茶氨酸等游离氨基酸的主要生物活性研究现状, 为茶叶中游离氨基酸的进一步利用提供理论基础参考。

1 检测方法

茶叶的品种、加工方式与环境的差异会导致茶叶中游离氨基酸的差异^[8], 这些差异会显著影响茶叶的口感特点^[9]。游离氨基酸不仅决定了茶叶的口感, 其生物活性也极具研究价值。因此, 精确测定茶叶中游离氨基酸的各组份含量, 对于深入理解茶叶品质和推动茶叶科学研究具有重要意义。根据检测方法的迭代, 可以将其分为常规检测方法与新兴检测方法。

1.1 常规检测方法

针对游离氨基酸含量的检测方法, 常见的有氨基酸自动分析仪检测法(amino acid analyzer, AAA)、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和毛细管电泳技术(capillary electrophoresis, CE)。

1.1.1 氨基酸自动分析仪检测法

AAA 是利用离子交换介质与游离氨基酸之间的相互作用, 在色谱柱中分离和检测氨基酸, 通过调节洗脱条件和使用紫外可见光谱检测器实现对游离氨基酸的分析。MA 等^[10]在对中国白茶产地鉴定的研究中, 采用氨基酸自

动分析仪(Sykam)准确检测了茶叶中各个组分游离氨基酸的含量。研究表明, 不同产地的白茶样品中的游离氨基酸含量存在差异。进一步分析后发现, 福鼎白茶中的茶氨酸、精氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、天冬酰胺的含量较高, 而云南白茶和信阳白茶中的含量相对较低, 信阳白茶中组氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸的含量相对较高, 而云南白茶和福鼎白茶中的含量较低。LIU 等^[11]研究了龙井 43 和白鸡冠的杂交样品以及龙井 43 和黄金芽的白化与未白化样品中游离氨基酸含量的差异性, 在研究中采用 90℃下的纯水对茶叶样品浸提 30 min, 然后使用 Sykam 检测。研究结果显示, 在相似的遗传背景下, 茶氨酸、天冬氨酸和精氨酸的平均含量会随着茶株株龄的增加呈线性下降的趋势, 且白化组的主要氨基酸水平要高于未白化组。

氨基酸自动分析仪具有高灵敏度、高效率和高特异性, 正是由于其高特异性, 所以更适用于专业从事氨基酸相关研究的实验室。然而, 该仪器安装、维修和维护的成本较高, 是其应用范围受限的重要原因。

1.1.2 高效液相色谱法

高效液相色谱系统利用样品中游离氨基酸与柱填料的相互作用, 通过检测器测量信号强度以分离和定量游离氨基酸。陈德权等^[12]使用具有紫外可变波长检测器(variable wavelength detector, VWD)的 Agilent 100 高效液相色谱系统, 搭配 Agilent Hypersil ODS 柱(40 mm×250 mm, 5 μm), 检测了梵净山不同品种茶叶中的氨基酸含量。研究表明, 虽然这些茶叶属于同一产地, 但不同品种之间的氨基酸含量存在差异。王富花^[13]在实验中, 用 10 mL 的沸水浸入 0.25 g 茶叶样品中, 在 90℃的水浴中浸提 20 min 后, 采用具有光电二极管阵列检测器(diode array detector, DAD)的高效液相色谱系统, 搭配 Agilent ZORBAX Eclipse XDB-C₁₈ 柱(4.6 mm×15 mm, 5 μm)检测了绿茶、乌龙茶与红茶中的 17 种游离氨基酸的含量。研究表明, 发酵过程对茶叶中酸性氨基酸和碱性氨基酸的降解作用明显。

高效液相色谱系统具有更广泛的适用性、高灵敏度和高效率, 相较于氨基酸自动分析仪, 高效液相色谱的检测范围要更加广泛, 适合于大多数分析检测类实验室。不过, 高效液相色谱的安装维护成本高昂, 操作复杂, 导致其应用受限。

1.1.3 毛细管电泳法

CE 是利用电场作用下氨基酸离子在毛细管内迁移速度的差异, 通过检测器测量吸光度信号以实现游离氨基酸的分离和定量分析。谢伟娜等^[14]通过采用带二极管阵列检

测器的 P/ACETM MDQ 毛细管电泳系统, 对白沙绿茶、西湖龙井以及婺源绿茶进行检测, 以确定茶汤最佳的浸泡时间。最终确定在 90℃纯净水冲泡 60 min 的效果最佳。AUCAMP 等^[15]则采用带紫外检测器的 P/ACE 1200 毛细管电泳系统同时对儿茶素、茶氨酸、咖啡因及没食子酸、抗坏血酸进行分析。该系统能够有效地对多种物质进行分离, 并以此分析样品间的差异。

毛细管电泳法具有高分离率、良好的选择性、分析速度快、样品处理简单以及低检测成本等优点。但是, 更低的检出限代表着更高的灵敏度, 该方法检测茶氨酸的检出限仅为 348 ng^[16], 相较于高效液相色谱检测中的 20.4 ng^[17], 差距明显。这是因为毛细管电泳缺乏高灵敏度的检测器, 以至于无法做到高灵敏度检测, 进而限制了其应用范围^[18]。

1.2 新兴检测方法

随着对茶叶中游离氨基酸的研究不断深入, 常规检测方法难以满足更深层次科研的需要, 科研需求对检测方法的灵敏度、精确性与高效性有了更高的要求。目前常用的方法包括核磁共振方法(nuclear magnetic resonance, NMR)和液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometer, LC-MS)。

1.2.1 核磁共振法

NMR 利用核自旋的能级差异和共振特性, 通过外加磁场和射频波脉冲引发核自旋跃迁和辐射放出, 在 NMR 谱图上分析和识别游离氨基酸。陈波等^[19]将茶叶样品浸入 70%甲醇水溶液, 经 30 min 超声辅助提取后, 取上清液除去甲醇, 并冷冻干燥得到提取粉末。使用核磁共振技术, 针对 35 种来自福建、云南、广东和江西等地的不同种类茶叶样品, NMR 检测条件为 298 K, 以 DMSO-d₆ 作为内锁, 每个图谱扫描 128 次, 产生 37268 个数据点, 设置波谱宽为 8012.82 Hz, 采样时间为 2.045 s, 脉冲间隔 d1 为 3.00 s。在使用预饱和和压制序列在 δ 3.315 压制水峰条件下, 初步识别出了约 20 种化学成分, 其中包括氨基酸、儿茶素、蔗糖等物质, 并通过多变量分析处理, 进而建立了指纹图谱。

NMR 技术被用于检测茶叶中的游离氨基酸, 具有高特异性和无损性的优势, 能够进行定量分析并建立指纹图谱, 但同时也存在着灵敏度较低、分辨率不足和高成本等局限性, 这些局限性需要通过技术进步以及多方法联用来克服。相较于高效液相色谱其优势在于能够提供分子结构信息、无需衍生化处理、非破坏性分析以及同时检测多种成分。

1.2.2 液相色谱-质谱法

LC-MS 通过结合液相色谱的分离能力和质谱的灵敏检测, 实现对游离氨基酸的高效分离和准确检测。ZHOU 等^[20]依托 LC-MS 检测技术对白茶、绿茶、红茶、黑茶和乌龙茶样品中的 21 种游离氨基酸进行定性与定量检测, 结果显示。绿茶中的鲜味氨基酸要高于白茶, 白茶中的甜

味氨基酸要高于绿茶, 阐明了发酵对于茶叶中游离氨基酸的影响。王秀梅^[21]在研究中采用 LC-MS 技术对祁门红茶进行了定性分析。研究结果显示, 鉴定出 5 种氨基酸, 包括环水杨酰胺和甘氨酸-L-缬氨酸。这项研究为祁门红茶中氨基酸的成分和含量提供了重要信息。

对比常规检测方法, LC-MS 能够在提供分子结构信息、检测灵敏度、适用性范围、多级质谱分析、高通量样品处理、定量分析精确度以及对复杂样品基质的适应性等方面具有显著优势。相较于 NMR 检测, LC-MS 具有更高的灵敏度与选择性。LC-MS 技术通过结合液相色谱的高效分离能力和质谱的高灵敏度检测, 为茶叶中游离氨基酸的准确鉴定和定量分析提供了强有力的工具, 其广泛的应用范围和快速分析能力使其成为茶叶质量检测和成分研究的重要检测手段。

1.3 检测方法的应用

如表 1 所示, 在整合有关于茶叶中游离氨基酸检测的相关报道中, 发现常规检测方法中的 HPLC 和新兴检测方法中的 LC-MS 使用较多。这两种技术能够覆盖多样的茶叶种类, 如绿茶、红茶、白茶、黄茶、黑茶、乌龙茶和普洱茶等, 并能够对其进行高效率、精准的检测。检测方法的选择在茶叶品质分析与深度研究中发挥关键作用。

表 1 游离氨基酸检测方法的概括
Table 1 Summary of free amino acid detection methods

检测方法	茶叶类型	参考文献
AAA	绿茶、红茶、白茶、茶青	[10-11,22]
HPLC	绿茶、红茶、白茶、乌龙茶、茶青	[5,12-13,23]
毛细管电泳法	绿茶、茶青	[15,24-25]
核磁共振法	乌龙茶、绿茶、红茶、黑茶、茶青	[19,26-27]
液相色谱-质谱法	绿茶、红茶、白茶、黄茶、黑茶、乌龙茶、普洱茶	[21,28-31]

2 游离氨基酸的生物活性

随着检测技术的进步, 茶叶中游离氨基酸的研究可以向更深层次发展, 如生物活性的研究。研究显示茶叶中的游离氨基酸具有多种生物活性, 如抗肿瘤作用、抗氧化作用、神经保护作用和改善睡眠作用等。

2.1 抗肿瘤作用

茶叶中的部分游离氨基酸具有抗肿瘤作用。茶氨酸能够通过线粒体途径诱导肝癌细胞(hepatocellular carcinoma cell line 2, HepG2)发生凋亡, 导致线粒体膜电位丧失, 释

放细胞凋亡诱导因子, 如内切酶 G 和细胞色素 C。Western blot 分析和 Caspase 活性检测显示, 与 Caspase-8 不活跃相比, Caspase-9 和 Caspase-3 被激活。这些结果表明, 当谷氨酰胺受限时, 茶氨酸能够通过线粒体途径诱导肿瘤细胞凋亡, 从而发挥强有力的抗肿瘤作用^[32]。色氨酸及其分解代谢物在肿瘤和免疫调节中具有重要作用。血清中色氨酸向犬尿氨酸转化比率的增加与黑色素瘤和肾细胞癌患者生存率较差相关, 而低水平的色氨酸代谢物 3-羟基氨基苯甲酸与非小细胞肺癌患者的无进展生存期显著相关。此外, 吡啶胺 2,3-双加氧酶(indoloamine 2,3-dioxygenase, IDO)作为犬尿氨酸的前体合成物质, 可以抑制免疫检查点抑制剂的抗肿瘤作用, 提示色氨酸代谢在调节免疫应答中起着重要作用^[33]。赖氨酸在机体中具有调节蛋白质的合成以及抑制病毒的复制的作用^[34-35], 在机体中表现为抗肿瘤作用, 并且赖氨酸还通过提高机体的免疫功能^[36], 在体内间接发挥抗肿瘤作用。

茶叶中游离氨基酸的抗肿瘤作用为癌症治疗提供了新的天然化合物资源, 多种游离氨基酸都具有抗肿瘤作用, 对于茶叶在医药方面的研究具有广阔的应用价值。

2.2 抗氧化作用

茶叶中的多种游离氨基酸均呈现显著的抗氧化作用。茶氨酸是茶叶的重要活性成分, 也是茶叶中所特有的一种游离氨基酸, 抗氧化作用是其主要的生物活性之一^[37]。现阶段, 茶氨酸的抗氧化作用的研究在以下两方面中具有突出表现, 第一个方面是提高自身的抗氧化能力, 减少细胞凋亡从而提高机体免疫力^[38]。李桂兰等^[39]利用 H₂O₂ 诱导 L02 干细胞损伤模型来监测茶氨酸的抗氧化作用。研究发现, 茶氨酸可以增加 H₂O₂ 损伤后 L02 细胞的存活率, 减少乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)的渗漏, 抑制肝细胞的凋亡。此外, 茶氨酸还能通过抑制 Caspase-3 的激活、减少多腺苷二磷酸核糖聚合酶(poly adp-ribose polymerase, PARP)的切割以及降低关键蛋白 Bax/Bcl-2 比值来发挥凋亡抑制作用^[35]。另一个方面是激发植物体抗氧化物质的生物活性并提高抗氧化酶的活性。刘炎红等^[40]通过对茶氨酸预处理过的烟草幼苗进行干旱胁迫处理后发现, 在 0.25 mmol/L 茶氨酸预处理后, 能显著改善烟草幼苗的不良生长状况。其作用机制主要是通过茶氨酸来诱导烟草降低可溶性蛋白、蛋氨酸和相对电导率丙二醛(malondialdehyde, MDA)以减轻生物体毒害, 并且茶氨酸也诱导烟草幼苗增加谷胱甘肽(glutathione, GSH)含量, 并调节抗氧化酶活性, 从而增强烟草幼苗的抗氧化能力^[6]。谷氨酸也能够对机体进行抗氧化调节^[41]。陈欣等^[42]研究了谷氨酸对热损伤奶牛小肠上皮细胞(intestine epithelium cell, IEC)的影响, 研究结果显示, 谷氨酸的浓度在 8~36 mmol/L 时能够显著提高细胞上清液中谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性。组氨酸同

样能够对机体进行抗氧化调节^[43]。张志刚等^[43]通过建立移植肝缺血再灌注损伤小鼠模型, 来探究组氨酸对移植肝缺血再灌注损伤的保护作用及其潜在机制。在实验中, 以 C57BL/6 小鼠和人肝永生化(transformed human liver epithelial, THLE)细胞分别组建模型, 分为假手术组、生理盐水治疗组和组氨酸治疗组。本实验还通过检测血清中谷丙转氨酶(alanine transaminase, ALT)和谷草转氨酶(aspartate transaminase, AST)活性、肝组织的蛋白表达水平(包括 Bcl-2、Bax、Cleaved Caspase-3)、肝细胞凋亡细胞比例、病理结构变化以及 THLE 细胞的活性氧(reactive oxygen species, ROS)水平, 结果显示, 相较于生理盐水组, 组氨酸治疗组显著降低了血清中的 ALT 和 AST 活性, 减轻了肝病理损伤程度, 降低了 Bax 表达, 上调了 Bcl-2 表达, 降低了 Bax/Bcl-2 比值, 增加了 Cleaved Caspase-3 蛋白水平。此外, THLE 细胞实验结果也显示, 组氨酸处理后可降低肝细胞凋亡比例和肝细胞 ROS 水平。

除上述氨基酸具有抗氧化作用以外, 茶叶中还有多种氨基酸通过不同的途径表现出抗氧化作用(表 2), 提升了茶叶作为研究对象和健康产品开发资源的价值。

Table 2 Antioxidant pathways of other free amino acids		
游离氨基酸	抗氧化途径	参考文献
精氨酸	增强抗氧化酶活性和降低氧化损伤标志物	[44-46]
苏氨酸	增强抗氧化酶活性和降低氧化损伤标志物	[47-49]
丝氨酸	激活抗氧化酶和促进抗氧化基因表达	[50-52]
甘氨酸	激活抗氧化酶和降低氧化损伤标志物	[53-55]
天冬氨酸	激活抗氧化酶和调节抗氧化基因表达	[56-57]
脯氨酸	激活抗氧化酶活性和减少活性氧产生	[58-60]
异亮氨酸	增强抗氧化酶活性和降低氧化损伤标志物	[61-63]

2.3 神经保护作用

茶叶中的部分游离氨基酸能够对神经起到保护作用。茶氨酸作为茶叶中的一种独特的游离氨基酸, 具有神经保护作用, 包括通过血脑屏障进入大脑^[64], 拮抗谷氨酸受体, 其中包括 α -氨基-3-羟基-5-甲基-4-异恶唑丙酸(α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid, AMPA)和红藻氨酸的受体, 有效减少神经元的兴奋性, 以及调节谷氨酰胺转运蛋白, 抑制细胞外谷氨酰胺的摄入, 降低神经元中谷氨酰胺的浓度, 减少兴奋性毒性和细胞死亡的风险^[65]。

丝氨酸在神经保护中发挥着重要作用。它作为 N-甲基-D-天冬氨酸(N-methyl-D-aspartic acid, NMDA)受体的“甘氨酸结合”位点的有效拮抗剂,能够调节神经元兴奋性。此外,丝氨酸存在于中枢神经系统中的多个区域,主要定位于星形胶质细胞,并通过刺激 AMPA 受体释放谷氨酸。该氨基酸由丝氨酸消旋酶合成,而降解则通过氨基酸氧化酶完成。尽管 NMDA 受体的“甘氨酸结合”位点被认为是可饱和的,但在大脑中的一些区域显示该位点并非饱和状态,受到神经胶质细胞和神经元之间相互作用的调节。丝氨酸还参与突触和细胞发育,在小脑中表达的高水平丝氨酸对于 NMDA 受体的正常功能和突触形成至关重要^[66]。甘氨酸对神经的保护作用主要表现在多个方面:首先,甘氨酸能够抑制神经细胞的凋亡,维持神经细胞的稳定性;其次,它还可以通过调节信号传导途径,特别是调节 N-末端激酶(phosphorylated c-Jun N-terminal kinase, p-JNK)水平,减少氧化应激引起的神经损伤;此外,甘氨酸还能减轻神经炎症,维持神经组织的正常状态;最后,甘氨酸能够改善突触功能和认知能力,促进神经系统的正常功能^[67]。

综上所述,茶叶中的多种游离氨基酸通过调节神经递质受体、抑制细胞凋亡和改善突触功能等多重机制,为神经系统提供了保护,这对于预防和治疗神经退行性疾病具有重要的研究和临床应用价值。

2.4 改善睡眠作用

茶叶中的部分游离氨基酸对睡眠具有改善作用。茶氨酸会在肠上皮细胞通过微绒毛吸收后被运送到脑组织中,进而可以增强大脑中 α 波的活动,使身体达到放松和平和的心理状态,帮助改善睡眠质量^[68],并且在多项有关于茶氨酸改善睡眠的研究中发现,其能够通过影响神经递质的释放与传递进而达到缓解神经和改善睡眠的作用^[69-70]。

色氨酸是合成血清素和褪黑素的前体氨基酸,血清素在大脑中具有镇静和放松的效果,褪黑激素是一种调节生物钟的激素,能够促进睡眠和维持睡眠的稳定性,因此,通过影响血清素和褪黑素水平从而能够有效改善睡眠^[71-72]。精氨酸还能够通过刺激生长激素的分泌调整机体深度睡眠时间,并且精氨酸还能够通过促进一氧化氮的生成进而扩张机体血管,从而减少睡眠时的不适^[46,73]。

综上所述,茶叶中特定的游离氨基酸如茶氨酸、色氨酸和精氨酸,通过影响神经递质的释放、调节褪黑素和血清素水平以及促进血液循环,展现了显著的改善睡眠质量的潜力,这一研究不仅丰富了对睡眠调节机制的理解,也为开发基于天然成分的睡眠辅助产品提供了科学依据,有助于提升人们的睡眠质量和整体健康水平。

3 结束语

本文通过综述茶叶中游离氨基酸的检测方法与其生

物活性,以期能够将游离氨基酸的检测与其生物活性研究相结合,进而深层次探究茶叶中游离氨基酸对健康的有利影响。茶叶中游离氨基酸不但影响茶叶的风味,并且具有多种对人体有利的生物活性,包括抗肿瘤、抗氧化、神经保护和改善睡眠等作用。准确高效的检测技术能够揭示茶叶中游离氨基酸的组成与含量,为客观评价茶叶品质提供科学依据,且有助于针对性地研究特定氨基酸的生物功能。

茶叶中游离氨基酸的检测技术要向着简化样品前处理、提升灵敏度、准确性及快速处理大量样品的高通量分析能力方向发展。这一发展趋势得益于对茶叶中游离氨基酸生物活性此类深层次研究的推进,针对茶叶中游离氨基酸的检测研究,不仅揭示了茶叶的健康益处,也推动了检测技术的创新。为了适应科学研究的需求,未来的检测技术将整合多种先进技术,以实现茶叶品质及其功能性成分的全面而精确的评估,从而为茶产业的发展与消费者健康提供坚实的科学基础。

参考文献

- [1] 沈冬梅. 新考古学视野下的茶叶文明起源研究[J]. 农业考古, 2022, (2): 7-16.
SHEN DM. Research on the origin of tea civilization from the perspective of new archaeology [J] Agric Archaeol, 2022, (2): 7-16.
- [2] 张帆. 传统茶礼仪文化及其文化内涵[J]. 福建茶叶, 2023, 45(5): 176-178.
ZHANG F. Traditional tea ceremony culture and its cultural connotations [J]. Fujian Tea, 2023, 45(5): 176-178.
- [3] 杨映福. 历史学角度下我国茶的发展历程分析[J]. 福建茶叶, 2021, 43(4): 7-8.
YANG YF. Analysis of the development process of tea in China from a historical perspective [J]. Fujian Tea, 2021, 43(4): 7-8.
- [4] 柴莹莹, 秦晓蕾, 朱俊杰, 等. 不同水质浸泡的茶汤中维生素 C、氨基酸及茶多酚含量测定[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(12): 139-140, 165.
CHAI YY, QIN XL, ZHU JJ, *et al.* Determination of vitamin C, amino acids, and tea polyphenol content in tea brewed with different water qualities [J]. Anhui Arg Sci Bull, 2023, 29(12): 139-140, 165.
- [5] 方仕茂, 张拓, 杨婷, 等. 基于 HPLC-FLD 靶向分析古茶树游离氨基酸积累特征[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 1070-1077.
FANG SM, ZHANG T, YANG T, *et al.* Targeted analysis of free amino acid accumulation characteristics in ancient tea trees based on HPLC-FLD [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2022, 38(4): 1070-1077.
- [6] 王锡洪, 梁慧玲, 毛斌瑛, 等. 茶氨酸的开发利用现状与展望[J]. 中国茶叶, 2021, 43(3): 6-10.
WANG XH, LIANG HL, MAO BY, *et al.* Current status and prospects of tea amino acid development and utilization [J]. China Tea, 2021, 43(3): 6-10.
- [7] 林伟东, 孙威江, 郭义红, 等. 茶叶中茶氨酸的研究与利用[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 201-206.
LIN WD, SUN WJ, GUO YH, *et al.* Research and utilization of tea amino acids in tea [J]. Food Res Dev, 2016, 37(20): 201-206.

- [8] 夏长棣, 杨天根, 翟精武, 等. 不同品种和工艺条件对白茶品质形成机制的影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(4): 160–168.
XIA CY, YANG TG, ZHAI JW, *et al.* Research progress on the influence of different varieties and processing conditions on the quality formation mechanism of white tea [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(4): 160–168.
- [9] 张纪伟, 吴金春, 周绍钧, 等. 遵义地区不同品种茶树茶叶呈味物质和矿质元素的含量特征[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(5): 99–105.
ZHANG JW, WU JC, ZHOU SJ, *et al.* Content characteristics of taste substances and mineral elements in tea leaves of different varieties in Zunyi region [J]. Guizhou Agric Sci, 2023, 51(5): 99–105.
- [10] MA CQ, MA BS, WANG JC, *et al.* Geographical origin identification of Chinese white teas, and their differences in tastes, chemical compositions and antioxidant activities among three production regions [J]. Food Chem X, 2022, 16: 100504.
- [11] LIU DD, WEI K, ZHANG CY, *et al.* The potential effects of chlorophyll-deficient mutation and tree age on the accumulation of amino acid components in tea plants [J]. Food Chem, 2023, 411: 135527.
- [12] 陈德权, 何来斌, 陈仕学, 等. HPLC 法测定梵净山不同品种茶叶氨基酸含量比较分析[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 294–298.
CHEN DQ, HE LB, CHEN SX, *et al.* Comparative analysis of amino acid content in different varieties of tea leaves in Fanjing Mountain using HPLC [J]. Food Ind, 2020, 41(1): 294–298.
- [13] 王富花. HPLC 分析测定不同茶叶中的游离氨基酸[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(1): 141–146.
WANG FH. HPLC analysis of free amino acids in different teas [J]. Food Res Dev, 2018, 39(1): 141–146.
- [14] 谢伟娜, 表明华. 毛细管区带电泳法测定白沙绿茶汤中的咖啡因、茶氨酸、EC 和 EGCG[J]. 江西化工, 2013, (2): 121–124.
XIE WN, ZHONG MH. Determination of caffeine, theanine, EC, and EGCG in Baisha green tea soup using capillary zone electrophoresis [J]. Jiangxi Chem Ind, 2013, (2): 121–124.
- [15] AUCAMP JP, HARA Y, APOSTOLIDES Z. Simultaneous analysis of tea catechins, caffeine, gallic acid, theanine, and ascorbic acid by micellar electrokinetic capillary chromatography [J]. J Chromatogr A, 2000, 876: 235–242.
- [16] 移瑞瑞, 马永钧, 杨宁. 用柱前衍生 CE-ECL 法测定茶叶样品中茶氨酸的含量[J]. 广东化工, 2017, 44(8): 202–203, 211.
YI RR, MA YJ, YANG N. Determination of theanine content in tea samples by pre-column derivatization CE-ECL [J]. Guangdong Chem Ind, 2017, 44(8): 202–203, 211.
- [17] 敬永升, 王蕊. HPLC 法测定红茶中茶氨酸的含量[J]. 河南大学学报(医学版), 2018, 37(4): 247–249.
JING YS, WANG R. Determination of theanine content in black tea by HPLC [J]. J Henan Univ (Med Ed), 2018, 37(4): 247–249.
- [18] 朱淦. 玻碳电极碳基复合材料涂层传感界面构筑及电化学性能研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2023.
ZHU G. Construction and electrochemical properties of glassy carbon electrode-based composite coating sensing interface [D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2023.
- [19] 陈波, 张巍, 康海宁, 等. 茶叶的 ^1H NMR 指纹图谱研究[J]. 波谱学杂志, 2006, (2): 169–180.
CHEN B, ZHANG W, KANG HN, *et al.* Study on ^1H NMR fingerprint of tea [J]. Chin J Magn Reson, 2006, (2): 169–180.
- [20] ZHOU P, ZHAO F, CHEN MJ, *et al.* Determination of 21 free amino acids in 5 types of tea by UHPLC–MS/MS using a modified AQC method [J]. J Food Compos Anal, 2019, 81: 46–54.
- [21] 王秀梅. 祁门红茶加工过程中代谢谱分析及其品质形成机理研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
WANG XM. Metabolic spectrum analysis and quality formation mechanism during processing of Qimen black tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012.
- [22] ZHOU BX, MA BS, XU CC, *et al.* Impact of enzymatic fermentation on taste, chemical compositions, and in vitro antioxidant activities in Chinese teas using E-tongue, HPLC, and amino acid analyzer [J]. LWT, 2022, 163: 113549.
- [23] 毛娟, 王文海, 洛英, 等. 西藏墨脱县 6 个茶树品种春夏两季化学品质差异分析[J/OL]. 食品科学: 1–12. [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20240119.1653.034.html>
MAO J, WANG WH, LUO Y, *et al.* Analysis of chemical quality differences in 6 tea tree varieties in Motuo County, Tibet during spring and summer [J/OL]. Food Sci: 1–12. [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20240119.1653.034.html>
- [24] HORIE H, MUKAI T, KOHATA K. Simultaneous determination of important components in green tea infusions using capillary electrophoresis [J]. J Chromatogr A, 1997, 758: 332–335.
- [25] 李平, 宛晓春, 李健, 等. 茶氨酸的衍生化及毛细管电泳定量技术[J]. 茶叶科学, 2004, (2): 119–123.
LI P, WAN XC, LI J, *et al.* Derivatization of tea amino acids and capillary electrophoresis quantification technology [J]. Tea Sci, 2004, (2): 119–123.
- [26] RACHINENI K, SHIRKE VS, SHARMA P, *et al.* Profiling of Darjeeling tea using ^1H NMR and multivariate analysis [J]. Food Human, 2023, 1: 440–444.
- [27] JIN G, ZHU YY, CUI CJ, *et al.* Tracing the origin of Taiping Houkui green tea using ^1H NMR and HS-SPME-GC–MS chemical fingerprints, data fusion, and chemometrics [J]. Food Chem, 2023, 425: 136538.
- [28] 王虹, 陈军辉, 赵恒强, 等. 高效液相色谱-质谱-二苯基三硝基苯胍在线筛选与鉴别茶叶中抗氧化活性成分[J]. 分析化学, 2009, 37(6): 795–800.
WANG H, CHEN JH, ZHAO HQ, *et al.* HPLC-MS-2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride for screening and identification of antioxidant components in tea [J]. Chin J Anal Chem, 2009, 37(6): 795–800.
- [29] ZHAO F, WU WX, WANG C, *et al.* Dynamic change of oligopeptides and free amino acids composition in five types of tea with different fermentation degrees processed from the same batch of fresh tea (*Camellia Sinensis* L.) leaves [J]. Food Chem, 2023, 404: 134608.
- [30] SALMAN S, YILMAZ C, GÖKMEN V, *et al.* Effects of fermentation time and shooting period on amino acid derivatives and free amino acid profiles of tea [J]. LWT, 2021, 137: 110481.
- [31] CHEN SS, FU Y, BIAN XQ, *et al.* Investigation and dynamic profiling of oligopeptides, free amino acids, and derivatives during Pu-erh tea fermentation by UHPLC-MS/MS [J]. Food Chem, 2022, 371: 131176.
- [32] YIN XQ, PEI LB, WANG Q, *et al.* Theanine, an antitumor promoter, induces apoptosis of tumor cells via the mitochondrial pathway [J]. Mol Med Rep, 2018, 18(5): 4535–4542.
- [33] 邓小玉, 王颖熠, 党倩倩, 等. 肠道菌群及代谢产物对免疫抑制剂抗肿瘤疗效的研究进展[J]. 中国现代医生, 2022, 60(31): 131–135.

- DENG XY, WANG YY, DANG QQ, *et al.* Research progress on the effects of gut microbiota and its metabolites on the efficacy of immune checkpoint inhibitors [J]. *China Mod Doct*, 2022, 60(31): 131–135.
- [34] 孙丽慧, 李倩, 姜建湖, 等. 淡水经济虾类红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 不同规格肌肉营养组成及表型性状分析[J]. *海洋与湖沼*, 2023, 54(3): 885–894.
- SUN LH, LI Q, JIANG JH, *et al.* Nutritional composition and morphological traits analysis of different sizes of *Cherax quadricarinatus* muscle [J]. *Oceanol Limnol Sin*, 2023, 54(3): 885–894.
- [35] 刘健, 杨显超, 李凯航, 等. 抗猫传染性鼻气管炎病毒药物的体外筛选[J]. *中国畜牧兽医*, 2017, 44(11): 3385–3390.
- LIU J, YANG XC, LI KH, *et al.* *In vitro* screening of antifeline infectious peritonitis virus drugs [J]. *China J Anim Sci Vet Med*, 2017, 44(11): 3385–3390.
- [36] 翁开红. 赖氨酸磷酸钙颗粒联合重组人生长激素治疗儿童特发性矮小症的临床价值分析[J]. *北方药学*, 2022, 19(11): 67–69.
- WENG KH. Clinical value analysis of *L*-arginine phosphate calcium granules combined with recombinant human growth hormone in treating idiopathic short stature in children [J]. *J North Pharm*, 2022, 19(11): 67–69.
- [37] 李成舰, 罗乐, 黄春花. *L*-茶氨酸抗氧化作用的研究进展[J]. *食品科学技术学报*, 2018, 36(4): 69–75.
- LI CJ, LUO L, HUANG CH. Research progress on the antioxidant effect of *L*-theanine [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 36(4): 69–75.
- [38] 李成舰, 颜琼娟, 肖文军, 等. *L*-茶氨酸调节机体免疫功能机理的研究进展[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(6): 663–669, 685.
- LI CJ, YAN QX, XIAO WJ, *et al.* Research progress on the regulatory mechanism of *L*-theanine on immune function [J]. *J Hunan Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2016, 42(6): 663–669, 685.
- [39] 李桂兰, 抗晶晶, 殷志敏. *L*-茶氨酸对 H_2O_2 致 L02 细胞损伤的保护作用及其机制研究[J]. *中国细胞生物学学报*, 2014, 36(6): 785–790.
- LI GL, KANG JJ, YIN ZM. Protective effect of *L*-theanine on H_2O_2 -induced L02 cell damage and its mechanism [J]. *China J Cell Biol*, 2014, 36(6): 785–790.
- [40] 刘炎红, 单丹丹, 刘松, 等. 茶氨酸诱导烟草幼苗抵御干旱胁迫的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(3): 405–409.
- LIU YH, SHAN DD, LIU S, *et al.* Study on the resistance of tobacco seedlings induced by theanine against drought stress [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2016, 43(3): 405–409.
- [41] JIANG J, SHI D, ZHOU XQ, *et al.* Effects of glutamate on growth, antioxidant capacity, and expression of antioxidant-related signaling molecules in primary cultures of fish enterocytes [J]. *Fish Physiol Biochem*, 2015, 41: 1143–1153.
- [42] 陈欣, 李旺, 豆梦莹, 等. 谷氨酸对热损伤牛小肠上皮细胞抗氧化指标及炎症因子的影响[J]. *饲料研究*, 2020, 43(5): 19–22.
- CHEN X, LI W, DOU MY, *et al.* Effects of glutamate on antioxidant indexes and inflammatory factors in the intestines of heat-injured calves [J]. *Feed Res*, 2020, 43(5): 19–22.
- [43] 张志刚, 高铭舒, 李佳颖, 等. 组氨酸通过抗氧化作用改善移植肝缺血再灌注损伤[J]. *空军军医大学学报*, 2024, 45(1): 15–21.
- ZHANG ZG, GAO MS, LI JY, *et al.* Histidine improves ischemia-reperfusion injury in transplanted liver through its antioxidant effect [J]. *J AIR Force Med Univ*, 2024, 45(1): 15–21.
- [44] 李铭雯, 李婧, 刘洪健, 等. 精氨酸对红螯螯虾生长性能和抗氧化能力的影响[J/OL]. *经济动物学报*: 1–12. [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1258.S.20231221.1128.004.html>
- LI MW, LI J, LIU HJ, *et al.* Effects of lysine on growth performance and antioxidant capacity in different sizes of muscle of *Procambarus clarkii* [J/OL]. *J Econ Anim*: 1–12. [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1258.S.20231221.1128.004.html>
- [45] 陈莹, 张贝贝, 王宝维, 等. 精氨酸对产蛋期五龙鹅肝脏生化、抗氧化和肠道抗氧化、免疫指标的影响[J]. *饲料研究*, 2023, 46(20): 30–34.
- CHEN Y, ZHANG BB, WANG BW, *et al.* Effects of lysine supplementation on biochemical, antioxidant, intestinal antioxidant, and immune indexes in laying geese during the laying period [J]. *Feed Res*, 2023, 46(20): 30–34.
- [46] 安亚南, 董晓丽, 高玉田. 精氨酸对猪和家禽免疫功能的调节作用[J]. *中国饲料*, 2023, (11): 72–76, 81.
- AN YN, DONG XL, GAO YT. Modulatory effects of lysine on immune function in pigs and poultry [J]. *China Feed*, 2023, (11): 72–76, 81.
- [47] HABTE-MICHAEL TH, REN M, LIU B, *et al.* Modulation of immune response, antioxidant status, and gene expressions of antioxidant enzymes and antioxidant-immune-cytokine-related signaling molecules by threonine in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Fish Shellfish Immun*, 2016, 51: 189–199.
- [48] 丁元翠, 方素庭, 徐廉竹, 等. 苏氨酸和异亮氨酸对皖西白鹅屠宰性能、器官指数及肠道形态结构、消化酶活性、抗氧化和免疫指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2023, 35(4): 2336–2348.
- DING YC, FANG ST, XU LZ, *et al.* Effects of isoleucine and valine on growth performance, organ index, intestinal morphology, digestive enzyme activity, and antioxidant, immune indexes in Wuding white geese during the laying period [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2023, 35(4): 2336–2348.
- [49] 刘升国, 曲正祥, 蒙国华, 等. 日粮苏氨酸水平对肉鸡生产性能、机体抗氧化性能和免疫机能的影响[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(10): 1429–1437.
- LIU SG, QU ZX, MENG GH, *et al.* Effects of dietary isoleucine levels on performance, antioxidant performance, and immune function in broilers [J]. *J Northwest Agric Sci*, 2017, 26(10): 1429–1437.
- [50] 曾思静, 刘永辉, 龙静, 等. 围产期母猪饲料补充丝氨酸对泌乳母猪和哺乳仔猪血清生化指标和抗氧化功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(4): 1976–1985.
- ZENG SJ, LIU YH, LONG J, *et al.* Effects of dietary methionine supplementation on biochemical indicators and antioxidant function of lactating sows and suckling piglets during the postpartum period [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2021, 33(4): 1976–1985.
- [51] OGBUAGU NE, AYO JO, ALUWONG T, *et al.* *L*-serine modulates activities of antioxidant enzymes and behavioral responses in broiler chickens subjected to feed restriction during the hot-dry season [J]. *J Veter Behavior*, 2023, 60: 1–9.
- [52] MOVAHEDIAN A, JAVANMARD SH, MARALANI MN. Antioxidant and cytoprotective effects of *L*-serine on human endothelial cells [J]. *Res Pharm Sci*, 2012, 7(4): 209.
- [53] KADIR A, HUANGFU CJ, BAILATI SM, *et al.* Effects of exogenous glycine treatment on growth and physiological characteristics of alfalfa seedlings [J]. *Kashgar Univ J*, 2016, 37(3): 31–34.
- [54] 汤雨, 程镇燕, 乔秀亭, 等. 甘氨酸对凡纳滨对虾生长、消化酶和抗氧

- 化能力的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(18): 58–61.
- TANG Y, CHENG ZY, QIAO XT, *et al.* Effects of glycine on growth, digestive enzyme, and antioxidant capacity of *Fenneropenaeus chinensis* under salt stress [J]. Feed Res, 2021, 44(18): 58–61.
- [55] ABBASI M, MIRGHAED AT, HOSEINI SM. Effects of dietary glycine supplementation on growth performance, immunological, and erythrocyte antioxidant parameters in common carp, *Cyprinus carpio* [J]. Animals, 2023, 13: 412.
- [56] 冷炜博, 刘玉兰, 李爽, 等. 天冬氨酸对脂多糖刺激断奶仔猪肠道形态结构和黏膜抗氧化能力的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(11): 32–36.
- LENG WB, LIU YL, LI S, *et al.* Effects of aspartate on intestinal morphology and mucosal antioxidant capacity in piglets challenged with lipopolysaccharide [J]. China J Anim Sci, 2014, 50(11): 32–36.
- [57] TANG WJ, WU J, JIN SS, *et al.* Glutamate and aspartate alleviate testicular/epididymal oxidative stress by supporting antioxidant enzymes and immune defense systems in boars [J]. Sci China Life Sci, 2019, 63: 116–124.
- [58] 邓紫连, 宋伟, 芮千龙, 等. 脯氨酸对中华鳖生长性能、抗氧化能力和抗嗜水气单胞菌感染能力的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(5): 3213–3227.
- DENG ZL, SONG W, RUI QL, *et al.* Effects of proline on growth performance, antioxidant capacity, and resistance to *Aeromonas hydrophila* infection in Chinese soft-shelled turtles [J]. Chin J Anim Nutr, 2023, 35(5): 3213–3227.
- [59] 鲁克嵩, 闫磊, 侯佳玉, 等. 盐胁迫下外源脯氨酸对油菜 Na⁺/K⁺平衡、生长及抗氧化系统的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(5): 141–148.
- LU KS, YAN L, HOU JY, *et al.* Effects of exogenous proline on Na⁺/K⁺ balance, growth, and antioxidant system of rapeseed under salt stress [J]. J Huazhong Agric Univ, 2023, 42(5): 141–148.
- [60] OZDEN M, DEMIREL U, KAHRA AM. Effects of proline on antioxidant systems in grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves exposed to oxidative stress by H₂O₂ [J]. Sci Hort, 2009, 119: 163–168.
- [61] GU CS, MAO XB, CHEN DW, *et al.* Isoleucine plays an important role for maintaining immune function [J]. Curr Protein Pept Sci, 2019, 20: 644–651.
- [62] JIANG Q, YAN M, ZHAO Y, *et al.* Dietary isoleucine improved flesh quality, muscle antioxidant capacity, and muscle growth associated with AKT/TOR/S6K1 and AKT/FOXO3a signaling in hybrid bagrid catfish (*Pelteobagrus vachelli*♀×*Leiocassis longirostris*♂) [J]. J Anim Sci Biotechnol, 2021, 12: 53.
- [63] MENG Z, WANG T, MALIK AU, *et al.* Exogenous isoleucine can confer browning resistance on fresh-cut potato by suppressing polyphenol oxidase activity and improving the antioxidant capacity [J]. Postharvest Biol Technol, 2022, 184: 111772.
- [64] LARDNER AL. Neurobiological effects of the green tea constituent theanine and its potential role in the treatment of psychiatric and neurodegenerative disorders [J]. Nutr Neuro Sci, 2013, 17: 145–155.
- [65] KAKUDA T. Neuroprotective effects of theanine and its preventive effects on cognitive dysfunction [J]. Pharmacol Res, 2011, 64: 162–168.
- [66] MILLER RF. D-Serine as a glial modulator of nerve cells [J]. Glia, 2004, 47: 275–283.
- [67] ULLAH R, JO MH, RIAZ M, *et al.* Glycine, the smallest amino acid, confers neuroprotection against D-galactose-induced neurodegeneration and memory impairment by regulating c-Jun N-terminal kinase in the mouse brain [J]. J Neuroinflamm, 2020, 17: 1–21.
- [68] 覃玉娜, 杜金杰, 吴新惠, 等. 茶对焦虑与抑郁的缓解作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(21): 214–219.
- QIN YN, DU JJ, WU XH, *et al.* Research progress on the relieving effects of tea on anxiety and depression [J]. Food Res Dev, 2023, 44(21): 214–219.
- [69] 俞辉, 马军辉, 丁艺丰, 等. 茶氨酸对咖啡因兴奋作用的拮抗机理分析[J]. 中国药物依赖性杂志, 2012, 21(4): 260–263, 281.
- YU H, MA JH, DING YF, *et al.* Antagonistic mechanism analysis of theanine on caffeine stimulation [J]. China J Drug Depend, 2012, 21(4): 260–263, 281.
- [70] 李瑞龙. 富含茶氨酸食品对健美操运动员运动性疲劳的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 231–232.
- LI RL. Effects of tea amino acid-rich foods on exercise-induced fatigue in aerobic exercise athletes [J]. Food Res Dev, 2022, 43(8): 231–232.
- [71] 李云梦, 宋晨歌, 张琦智, 等. 褪黑素对泌乳中期奶牛瘤胃发酵参数及微生物区系的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(12): 7879–7891.
- LI YM, SONG CG, ZHANG QZ, *et al.* Effects of melatonin on rumen fermentation parameters and microbiota in mid-lactation dairy cows [J]. China J Anim Nutr, 2023, 35(12): 7879–7891.
- [72] 李舒冉, 郭姗姗, 冀祖恩, 等. 新型冠状病毒感染后认知功能障碍的研究现状[J]. 中国药物警戒, 2024, 21(1): 59–64.
- LI SR, GUO SS, JI ZEN, *et al.* Research progress on cognitive dysfunction after COVID-19 infection [J]. Chin J Pharmacovigil, 2024, 21(1): 59–64.
- [73] 李双君, 潘君, 崔玉红. 内皮细胞电压门控钙离子通道及其功能研究进展[J]. 生物化学与生物物理进展, 2022, 49(6): 1061–1074.
- LI SJ, FAN J, CUI YH. Research progress on the construction and function of the endothelial cell voltage-gated calcium ion channel [J]. Progress Biochem Biophys, 2022, 49(6): 1061–1074.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



张致玮, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品品质分析研究。
E-mail: zhiwei2023@foxmail.com



张唐伟, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农畜产品品质分析研究。
E-mail: zhangtangwei04@163.com