

白及主要有效成分特征及其影响因素研究进展

黎晓星^{1,2}, 杨莹³, 李群⁴, 杨赏赏^{1,2}, 周鑫伟², 周颖², 张家春^{1,2,5*}

1. 贵州中医药大学, 贵州 贵阳 550025
2. 贵州省植物园, 贵州 贵阳 550004
3. 遵义市种植业发展服务中心, 贵州 遵义 563000
4. 贵阳生产力促进中心, 贵州 贵阳 550004
5. 国家林业和草原局西南喀斯特山地生物多样性保护重点实验室, 贵州 贵阳 550004

摘要: 白及 *Bletillae Rhizoma* 为兰科多年生植物白及的干燥块茎, 具有较高的药用价值。为了满足市场的需求, 我国许多省份加大了对白及的人工种植, 而人工种植白及的品质是我国白及产业高质量发展的基本保障。白及的品质主要由白及多糖、白及苷、总酚等有效成分决定。通过对白及块茎中白及多糖、白及苷、总酚在不同省份、种植年限、年龄的分布特征进行综述, 讨论白及块茎中主要有效成分的影响因素。并探讨白及地上部分和须根的药用潜力, 及对白及地上部分、块茎、须根下一步在品质、种植方面的研究内容进行展望, 为白及地上部分、块茎、须根的资源合理开发利用提供参考依据。

关键词: 白及; 白及多糖; 白及苷; 总酚; 影响因素; 土壤特性; 气候特性

中图分类号: R282 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2024)08-2820-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.08.031

Research progress on characteristics and influencing factors of main active ingredients in *Bletillae Rhizoma*

LI Xiaoxing^{1,2}, YANG Ying³, LI Qun⁴, YANG Shangshang^{1,2}, ZHOU Xinwei², ZHOU Ying², ZHANG Jiachun^{1,2,5}

1. Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China
2. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China
3. Zunyi Plantation Development Service Center, Zunyi 563000, China
4. Guiyang Productivity Promotion Center, Guiyang 550004, China
5. Key Laboratory for Biodiversity Conservation in Karst Mountain Area of Southwestern China, National Forestry and Grassland Administration, Guiyang 550004, China

Abstract: Baiji (*Bletillae Rhizoma*) is the dried tuber of *Bletilla striata*, a perennial plant in the Orchidaceae family, has great medicinal potential. In order to meet market demand, the artificial cultivation of *Bletillae Rhizoma* has been increasing in many province and regions of China, the quality of the artificially planted *Bletillae Rhizoma* is the basic guarantee for the high-quality development of China's *Bletillae Rhizoma* industry. The quality of *Bletillae Rhizoma* is mainly determined by effective ingredients such as *Bletillae Rhizoma* polysaccharide, militarine, and total phenol. By reviewing the distribution characteristics of these components in *Bletillae Rhizoma* tuber from different provinces, planting years, and ages to discuss the factors that influence the main effective ingredients. Additionally, the medicinal potential of *Bletillae Rhizoma*'s above-ground parts and roots was discussed, and future research on the quality, and cultivation of *Bletillae Rhizoma* above-ground parts, tuber, and roots was proposed to provide a reference for the wise development and utilization of these resources.

Key words: *Bletillae Rhizoma*; *Bletillae Rhizoma* polysaccharide; militarine; total phenol; influence factor; soil properties; climate properties

收稿日期: 2023-09-26

基金项目: 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2021]3-11号); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2827); 贵州省高层次创新型人才培养项目(黔科合平台人才[2016]5666)

作者简介: 黎晓星(1999—), 男, 贵州铜仁, 硕士研究生, 研究方向为中药学。E-mail: 15885782061@163.com

*通信作者: 张家春(1988—), 男, 正高级工程师, 从事药用植物栽培研究。E-mail: zhangjiachun198806@163.com

白及为兰科白及属白及 *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f. 的干燥块茎，其味苦、甘、涩，微寒，归肺、肝、胃经，具有收敛止血、消肿生肌的作用，可用于咯血、吐血、外伤出血、疮疡肿毒、皮肤皲裂^[1]。随着市场对白及的需求量增加，人工采挖导致野生资源越来越少，为了满足白及市场需求量的不断增加，人工种植成为白及商品的主要来源，而人工种植白及品质受土壤、气候和人为活动的影响。研究表明，白及多糖（白及胶）、白及苷可作为白及品质的质量标志物^[2]。酚类物质具有强抗氧化作用，是白及抗氧化的药效成分之一^[3]。因此，本文选择白及多糖、白及苷、总酚作为白及品质评价的主要药效成分，对国内外相关研究进行综述，梳理与分析白及品质特征及其影响因素，并对下一步研究进行展望，为白及种植行业和提升白及品质提供参考。

1 白及主要有效成分特征研究现状

1.1 白及多糖的研究现状

白及多糖在止血、促进造血、促进伤口愈合、提高免疫及抗菌等方面具有重要作用^[4]；同时白及多糖可以作为药物载体，是一种潜在医用生物支架材料^[5]，在日化、食品、化工等多个领域应用。白及的主要药用部位为块茎，其主要药效成分为白及多糖。随着对白及研究的逐渐深入，除了主要研究白及块茎外，已有大量研究对白及须根、地上部位中白及多糖进行了分析，对白及不同部位中白及多糖含量进行统计分析^[3,6-20]，结果见表 1。发现白及多糖在白及中以块茎中含量最为丰富，地上部分次之，须根最低，且块茎中的含量是须根中的 2.94 倍，是地上部分的 2.04 倍。目前，人工种植过程中，采收时只采收白及块茎，而从白及多糖含量来看，须根和地上部分也可作为白及多糖的提取原料，为白及在药物载体和医疗器械领域的应用提供大量原材料，减轻白及块茎供不应求的行情。

块茎作为白及多糖含量最为丰富的部位，其来源主要依靠人工种植。白及的人工种植分布较广，在全国 10 多个省均有人工种植白及，主要集中在

贵州和云南。对各产地白及块茎中多糖进行收集与整理^[3,6-13,15-20]，结果见表 2。各产地白及块茎中多糖含量存在差异，其中湖南的含量最高，云南的含量最低，且湖南的白及多糖含量是贵州和云南的 2 倍左右，白及多糖含量的大小表现为湖南>陕西>安徽>四川>贵州>云南。从不同产地白及块茎中白及多糖含量来看，湖南、陕西和安徽白及较好，然而临床用药和古籍记载表明，贵州的白及为道地药材^[21]，品质和临床疗效均为最佳，说明白及多糖不是白及道地药材品质评判的唯一指标，道地药材品质可能与其成分组成比例有关^[22]。

表 2 不同产地白及块茎中白及多糖的分布特征

Table 2 Distribution characteristics of *Bletillae Rhizoma* polysaccharides in tuber of *Bletillae Rhizoma* in different places

| 产地 | 白及多糖/% |
|----|--------|
| 贵州 | 25.83 |
| 云南 | 24.06 |
| 四川 | 30.82 |
| 安徽 | 38.76 |
| 湖南 | 51.89 |
| 陕西 | 45.46 |

白及为多年生中药材，适宜的采收期为种植 3 年或 4 年后的 8~10 月，种植年限为 3 年或 4 年的白及具有 1~3 龄的块茎，带芽头的白及块茎分为 1 龄白及块茎，从 1 龄白及块茎顺着“过桥杆”向内依次为 2 龄和 3 龄白及块茎。白及品质不仅受到土壤肥力、气候等的影响，种植年限及生长年龄对白及的品质也有影响，收集和整理不同种植年限和不同生长年龄白及块茎中的白及多糖^[6,8-12,17]，结果见图 1。随着种植年限的增长，块茎中白及多糖的含量呈现先增加后降低的趋势，种植 3 年后白及多糖含量最高，说明白及适宜在种植 3 年后采挖。随着生长年龄的增长，块茎中白及多糖也是呈现先增加后降低的趋势，其中 2 龄白及块茎中多糖含量最高。说明白及种植 3 年后，块茎中多糖含量最高，其中又以 2 龄块茎多糖含量最高，这与白及适合种植 3 年采收相互佐证。白及多糖在白及的地上部分、块茎和须根中均有分布，主要集中在块茎；产地也会影响块茎中白及多糖的含量，湖南块茎中的白及多糖含量最高；种植年限和生长年龄均会影响块茎中白及多糖的含量，种植 3 年后块茎中白及多糖含量最高，生长年龄为 2 龄的白及块茎多糖含量最高。

表 1 白及不同部位白及多糖含量的分布特征

Table 1 Distribution characteristics of *Bletillae Rhizoma* polysaccharide in different parts of *Bletillae Rhizoma*

| 部位 | 白及多糖/% |
|------|--------|
| 须根 | 10.03 |
| 块茎 | 29.52 |
| 地上部分 | 14.44 |

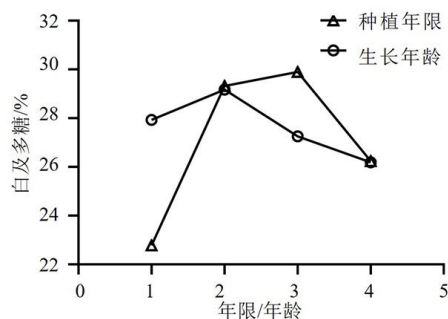


图 1 不同种植年限和不同生长年龄白及块茎中的白及多糖分布特征

Fig. 1 Distribution characteristics of *Bletillae Rhizoma* polysaccharide in tuber of different planting years and different growth ages of *Bletillae Rhizoma*

1.2 白及苷研究现状

2002 年韩广轩等^[23]首次在白及块茎中检测出白及苷，其质量分数高达 2.0%~3.0%，之后被用于白及药材及相关中成药质量控制的特征指标。《中国药典》2020 年版规定^[1]，白及苷的质量分数在白及药材中不得少于 2.0%，在白及饮片中不得少于 1.5%。同时规定白及以块茎入药，导致白及须根和地上部分在采挖过程中被丢弃，造成了大量的浪费和环境污染。为了减少浪费和环境污染及扩大白及药用部位，对白及不同部位中白及苷进行统计分析^[13-14,24-32]，结果见表 3。须根中白及苷含量最高，块茎次之，地上部分最少，且须根和块茎中白及苷含量是地上部分的 22.07 倍和 18.86 倍，提示白及块茎和须根可能是白及苷合成与累积的主要部位。须根中白及苷的含量为 3.09%，超过《中国药典》2020 年版对白及中白及苷的规定，说明可以将白及须根作为资源进行利用，减轻白及市场供不应求的现状。

中药种植的品质除了受种植技术影响外，还易受到地理位置的影响，收集并整理各产地白及块茎中白及苷含量^[13,24,26-32]，结果见表 4。白及块茎中白及苷含量前 3 分别是江西、陕西和贵州，且含量均超过 3.00%；白及块茎中白及苷含量大小顺序为江西>

表 3 不同部位白及苷的分布特征

Table 3 Distribution characteristics of militarine in different parts of *Bletillae Rhizoma*

| 部位 | 白及苷/% |
|------|-------|
| 须根 | 3.09 |
| 块茎 | 2.64 |
| 地上部分 | 0.14 |

表 4 不同产地白及块茎中白及苷的分布特征

Table 4 Distribution characteristics of militarine in tuber of *Bletillae Rhizoma* in different places

| 产地 | 白及苷/% |
|----|-------|
| 贵州 | 3.04 |
| 云南 | 2.70 |
| 四川 | 2.47 |
| 陕西 | 3.29 |
| 湖北 | 2.58 |
| 浙江 | 2.92 |
| 河南 | 1.92 |
| 河北 | 1.50 |
| 广西 | 1.96 |
| 安徽 | 1.78 |
| 江西 | 3.47 |

陕西>贵州>浙江>云南>湖北>四川>广西>河南>安徽>河北，其中江西产白及块茎中白及苷含量是河北的 2.31 倍。从不同产地的地理位置来看，江西、贵州、浙江和云南处于相近的纬度范围，且白及苷含量接近；湖北、河南和河北纬度呈现逐渐上升的趋势，而白及苷含量呈现逐渐降低的趋势，揭示白及块茎中白及苷含量可能与纬度呈负相关。

白及苷作为白及的主要药效成分，研究表明白及苷对神经有保护作用^[33]、可减轻大鼠慢性低灌注模型的白质损伤和认知功能损伤^[33]、血管舒张作用^[34]。白及块茎中的白及苷含量变化会影响其品质和临床疗效，朱新焰等^[32]研究了种植年限对白及苷的积累影响，结果表明，随着白及种植年限的增长白及块茎中白及苷含量呈现逐渐增加趋势，其中种植 4 年的白及块茎中白及苷含量最高，是种植 2 年的 1.57 倍，说明种植 2~4 年是白及块茎中白及苷累积的主要时期。白及苷在白及的地上部分、块茎、须根中均有分布，主要集中在块茎和须根；产地会影响块茎中白及苷含量，其中以江西产白及块茎中白及苷含量最高；种植年限会促进块茎中白及苷含量，以种植 4 年后块茎中白及苷含量最高。

1.3 白及总酚研究现状

酚类物质在自然界主要包括酚酸、黄酮、芪氏化合物、香豆素类和鞣质类化合物，且主要来源于苯丙氨酸和酪氨酸的植物次生代谢产物，与植物防御紫外线辐射功能紧密相关^[35]。白及不同部位受到紫外辐射的情况不同，其总酚含量可能存在差异，对白及不同部位总酚进行收集和整理^[2,6,8,13,25,36-38]，

结果如表 5 所示。地上部分总酚的含量最高，块茎中次之，须根含量最低，且地上部分的总酚含量是须根的 1.54 倍，可能是因为地上部分一直存在紫外辐射，从而导致总酚在白及地上部分大量合成与累积，表明白及中的总酚可能主要是在地上部分进行合成和积累。

表 5 不同部位总酚的分布特征

Table 5 Distribution characteristics of total phenol in different parts of *Bletillae Rhizoma*

| 部位 | 总酚/% |
|------|------|
| 须根 | 1.14 |
| 块茎 | 1.28 |
| 地上部分 | 1.75 |

随着纬度逐渐上升，到达地面的紫外强度也可能会发生变化，总酚的含量也可能会出现变化。对各省白及块茎中总酚进行统计分析^[6,8,13,36-38]，结果如表 6 所示。湖北产白及块茎中总酚含量最高，安徽产块茎中总酚含量最低，2 个产地的块茎中总酚含量相差 6.72%；白及块茎中总酚的含量大小依次为湖北>四川>贵州>浙江>安徽。从各省份的纬度变化趋势来看，湖北和四川与贵州间存在纬度降低的趋势，同时白及块茎中总酚的含量也存在降低的趋势，可能是纬度降低导致的，也可能因为紫外辐射逐渐增强导致总酚含量降低，表明白及块茎中总酚含量可能与纬度呈正相关，与紫外辐射强度呈负相关。

表 6 不同产地白及块茎中总酚的分布特征

Table 6 Distribution characteristics of total phenol in tubers of *Bletillae Rhizoma* in different places

| 产地 | 总酚/% |
|----|------|
| 贵州 | 0.44 |
| 安徽 | 0.34 |
| 浙江 | 0.39 |
| 湖北 | 7.06 |
| 四川 | 2.70 |

酚类成分被认为具有较高的抗氧化能力和自由基清除能力。因此，酚类化合物作为预防和治疗许多氧化应激相关疾病的潜在药物^[35]，受到广泛关注。总酚作为白及抗氧化的主要物质之一，其在白及块茎中的含量变化规律也备受关注，收集与整理不同种植年限和不同生长年龄的白及块茎中总酚^[6,8]，结果

见图 2。随着种植年限的增长，白及块茎中总酚含量呈现先增加后降低的趋势，种植 2 年后白及块茎中总酚含量最高，种植 3 年后白及块茎中总酚含量最低；随着生长年龄的增长，白及块茎中总酚含量呈现逐渐降低的趋势，1 龄白及块茎中总酚含量最高，是 3 龄白及块茎的 1.52 倍。1 龄白及块茎包含地上部分，而 2 龄和 3 龄白及块茎没有地上部分，同时 2 龄和 3 龄块茎中总酚含量逐渐降低，表明地上部分可能是总酚合成与积累的主要部位，与总酚在白及不同部位分布结论一致。总酚在白及的地上部分、块茎、须根中均有分布，以地上部分中的总酚含量最高；产地会影响块茎中总酚含量，其中湖北省块茎中总酚含量高达 7.06%；种植年限和生长年龄也会影响块茎中总酚含量，种植 2 年后块茎中总酚含量最高，生长年龄为 1 龄的块茎中总酚含量最高。

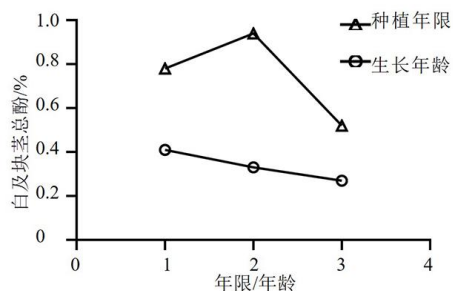


图 2 不同种植年限和不同生长年龄白及块茎中总酚的分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of total phenol in tubers of different planting years and different growth ages of *Bletillae Rhizoma*

2 白及主要有效成分影响因素研究现状

2.1 土壤特性对白及主要有效成分影响研究现状

土壤是中药材生长环境中的关键因子，供给和协调中药材生长发育所需要的水、肥、气、热，对中药材的产量和品质具有重要作用。研究显示在与生长环境相适应的过程中，土壤因子使中药材的产量、品质和临床疗效产生较大差异。土壤养分状况能够影响白及多糖含量变化^[6]，土壤微生物作为土壤养分循环的重要因素，根际土壤真菌群落与白及产量和多糖变化关系密切^[39]。土壤质地能够影响土壤水分、空气和热量及养分的转化，同时对土壤结构有影响，进而影响块茎类中药材的产量和品质。研究表明白及次生代谢产物的积累在砂质黏土中显著高于砂壤土，砂质黏土中的微生物组可以促进白

及块茎中白及苷累积, 砂壤土中的微生物组则抑制白及块茎中白及苷的积累^[40]。权雪等^[41]研究表明, 水分对白及多糖的积累有显著的影响。另外, 土壤 pH 值在作物生长中影响土壤环境质量, 进而影响中药材的生长和品质形成。土壤酶活性也与中药材生长和品质密切相关。张家春等^[6]研究认为白及总酚与土壤多酚氧化酶、土壤磷酸酶及土壤 pH 值间呈显著负相关。邱浩等^[39]认为白及多糖与茎点霉属、青霉菌属、镰刀菌属丰度、Na⁺呈负相关, 与 Zn²⁺、Al³⁺、Ca²⁺、木拉克酵母属、梭孢壳属含量正相关。土壤有机质含有作物生长所需的几乎所有营养元素, 与中药材的品质密切相关。研究表明, 白及总酚与土壤有机质呈显著正相关^[6]。综上, 土壤的质地、含水量、pH、有机质、微生物和无机元素等, 可直接影响白及品质形成和累积。

2.2 气候特征对白及主要有效成分影响研究现状

在全球气候变化的大背景下, 局部极端气候的发生呈现递增的趋势, 药用植物的品质受到了严重的影响。黄芩^[42]和紫花苜蓿^[43]中黄酮的合成会受到干旱胁迫的抑制; 土壤水分含量为 100% 时, 白菊花中绿原酸及黄酮的合成与积累受到抑制^[44]; 长春花受到低温胁迫时, C₆C、C₆C₃ 和 C₆C₃C₆ 型化合物的合成和累积受到严重抑制^[45]; 低温和高光强可以促进银杏叶中黄酮类化合物的积累^[46]。目前已有研究表明气候可影响白及叶片的生理作用, 而少有报道表明气候对白及品质的影响。白及作为喜阴植物, 在 50% 和 70% 遮光条件下保持较高的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度, 说明白及的适宜遮光范围是 50%~70%^[47]。适当的遮阴可以提高白及叶片的光合面积和提高光合效率^[48]。黄珊等^[49]研究表明, 60% 遮阴处理白及净光合速率最大, 白及多糖得率最大。除了光照强度可影响药用植物的生长和品质外, 光质与药用植物的发育和次生代谢产物也有密切联系。白及在蓝光成分照射下, 对地上部分的生长具有显著的促进作用, 同时也增加了白及块茎中总酚和白及苷含量, 而不影响白及多糖的积累^[50]。

当药用植物受到适当的环境胁迫时, 会产生次生代谢产物用于抵御环境胁迫, 从而形成药用植物特定的品质。刘成才等^[51]研究表明, 当白及受到适宜的光胁迫时, 白及多糖质量分数最高, 达到 (39.31±0.28)%; 无遮阴处理的白及苷质量分数最高, 达到 (7.61±0.83)%。药用植物受到严重的环境胁迫时, 药用植物的生理和品质均会受到抑制。

白及受到水涝胁迫时, 白及叶片的光合速率、气孔导度及胞间 CO₂ 浓度随着水涝胁迫的加重呈现先上升后下降的变化趋势; 白及受到干旱胁迫时, 白及叶片的光合速率、气孔导度都随着干旱胁迫的加重而下降、蒸腾速率升高、胞间 CO₂ 浓度先上升后下降^[52]。白及受到低温胁迫时, 白及叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率显著下降^[53]。高温、干旱和高温干旱复合胁迫发生时, 白及叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率等光合参数降低明显^[54]。总体上, 白及适宜的遮光范围为 50%~70%, 具有较高的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度值; 蓝光成分会促进总酚和白及苷的累积; 适当的光胁迫会促进白及多糖的合成与累积; 白及受到严重的水涝和干旱胁迫会抑制白及的光合作用。

2.3 人为活动对白及主要有效成分影响研究现状

目前, 白及市场主要以人工种植白及为商品的主要来源。然而, 由于土壤、气候及人工种植技术的差异, 造成人工种植白及的品质和产量不稳定。Deng 等^[55]研究了不同间作系统下白及块茎的产量和品质变化, 结果表明, 浅根间作与单作相比, 浅根间作显著降低了白及块茎产量, 显著提升了总酚和黄酮含量。刘成才等^[51]研究表明, 采用覆膜种植时, 块茎多糖含量 (39.04%) 与白及苷含量 (7.72%) 均达到最高。夏科等^[56]研究认为, 当白及与乐昌含笑套种时, 白及多糖含量丰富。

植物生长过程中, 施肥方式、施肥量和施肥种类均会影响植物的产量和品质^[57-58]。张金霞等^[59]研究表明, 施蚯蚓粪和施蚯蚓粪的方式均能显著的影响白及多糖含量。肖广达^[60]研究发现蚯蚓粪配合化肥处理能显著提高白及总酚和多糖含量, 较不施肥处理分别高出 116.37% 和 72.54%。夏科等^[56]研究认为以羊粪为基肥配合生长期追施复合肥处理可显著提升白及多糖含量, 较不施肥提高了 33.8%。张光强等^[61]研究认为当谷糠用量 1 050 kg/hm²、煮熟黄豆用量 1 050 kg/hm²、油枯用量 750 kg/hm²、腐熟农家肥 22 500 kg/hm² 时, 白及多糖含量最高且达到了 36.25%。

李姣红^[62]研究发现, 施加 180 kg/hm² N、105.0~157.5 kg/hm² P₂O₅、45~135 kg/hm² K₂O 可显著提高白及块茎中多糖的累积。马菁华等^[63]通过研究氮素营养对白及生长与多糖积累的影响, 结果表明, 与对照组相比, 施氮处理下总多糖差异显著, 铵硝混合处理较硝态氮和铵态氮同样有显著差异, 分别高

出 40.64%和 47.88%。张秀玥等^[64]研究了 4 种不同量微肥的施用对白及产量和品质的影响,当锌肥、硼肥、钼酸铵、氮肥用量分别为 15.0、15.0、1.5、75.0 kg/hm²时,白及多糖质量分数高达 36.69%。商靓婷^[65]研究了硼、钼肥的施用量对白及多糖累积的影响,结果表明,当硼肥和钼肥用量分别为 36.0、0.6 kg/hm²时,林下种植和露地种植的白及多糖含量均是最高。综上,套种模式、施肥的方式、种类和施肥量对白及品质均有影响;在种植白及时,施加氮肥、磷肥、钾肥能提升白及品质,且铵硝混合态氮肥能最大限度的提高白及多糖含量;微肥是白及生长和品质形成不可或缺一部分,适当的施加硼、锌、钼肥均能促进白及多糖的累积。

3 结语与展望

白及多糖作为白及质量标志物之一,并且主要集中在块茎,一方面是因为块茎中含有大量的白及多糖合成代谢物^[66],另一方面,土壤性质、气候及种植技术差异会影响块茎中白及多糖的累积,生长年龄和种植年限也会影响块茎中白及多糖的含量。在白及不同龄和年限中,1 龄白及和种植年限为 1 年的白及均是新生白及块茎,然而其白及多糖含量存在明显差距,可能是因为 1 龄白及块茎通过“过桥杆”连接了 2 龄白及块茎,2 龄块茎可能促进 1 龄块茎合成和累积白及多糖。随着生长年龄延长,块茎中可用的营养物质通过“过桥杆”向新生块茎转移^[67];也可能是多糖为初生代谢产物^[11],种植 2 年后多糖逐渐转化为次生代谢产物,以满足白及生长、发育和防御等生理需要,从而促进 1 龄块茎合成和累积白及多糖。后续可进一步研究 2 龄白及块茎品质对 1 龄白及块茎品质的影响及其机制,从而为 1 龄白及生长发育和品质提供充足保障。

白及苷作为白及的另一个质量标志物,其在白及各部位均有分布,但主要集中在须根,同时须根中还含有白及多糖和总酚,从主要有效成分含量来看,白及须根可以资源化利用,扩大白及的药用部位,从而缓解白及市场的紧缺。白及块茎作为用药部位,块茎中白及苷含量在种植 4 年时最高,从白及苷含量来看白及适合种植 4 年后采收。中药采收时间主要是以药效成分含量和产量最大化来判定,现在白及种植密度的行株距主要为 20 cm×25 cm,种植 3 年后白及产量最大,白及多糖含量最高,故白及主要是种植 3 年后采收。白及的主要药效成分是白及多糖、白及苷、总酚,从单一成分含量最大

化来看,白及适合种植 1 年后采收,也适合种植 3 年或 4 年后采收,然而白及品质是多成分共存的综合品质,而不是以单一成分含量来判定。后续可以针对不同种植密度,同时将须根、块茎和地上部分做综合品质分析,进一步研究不同种植密度下白及块茎适宜的采收年限。

总酚作为白及主要药效成分之一,主要集中在白及的地上部分,同时地上部分还含白及多糖,从白及多糖和总酚含量来看,白及的地上部分可以资源化利用,提高白及的利用率。每年收集白及地上部分作为总酚和白及多糖的提取原料,或可减轻白及供不应求的现状。块茎作为白及的主要用药部位,白及块茎中也含有总酚,并且块茎中总酚含量可能跟纬度呈正相关;另外白及块中白及苷含量可能与纬度呈负相关。目前有研究表明中药的品质和药理活性与纬度存在相关性,如吴萍等^[68]认为纬度是影响姜黄挥发油的主要因素;杨耀文等^[69]则认为,草果群居纬度的升高会抑制挥发油累积;而曾燕等^[70]研究认为,黄芩抑菌活性的差异与纬度跨越有关。因此可进一步研究纬度对白及中白及苷和总酚的影响,并揭示纬度跟块茎中白及苷和总酚的关系,为白及的适宜种植规律提供依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 106.
- [2] 刘金梅, 安兰兰, 刘刚, 等. 白及化学成分和药理作用研究进展与质量标志物预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(6): 28-37.
- [3] 彭焱. 栽培白及品质评价与总酚提取及抗氧化性研究 [D]. 吉首: 吉首大学, 2019.
- [4] Posocco B, Dreussi E, de Santa J, et al. Polysaccharides for the delivery of antitumor drugs [J]. *Materials*, 2015, 8(5): 2569-2615.
- [5] 朱峻霄, 林亚蒙, 杨野, 等. 白及多糖在生物医药材料领域中的应用研究进展 [J]. 中药材, 2018, 41(4): 1011-1014.
- [6] 张家春, 孙超, 李朝桢, 等. 不同种植年限白及土壤有机质、酶活性与白及有效成分研究 [J]. 中药材, 2020, 43(1): 1-4.
- [7] 吴诗惠, 王剑波, 开拓, 等. 白及多糖超声提取工艺及其抗氧化活性研究 [J]. 世界中医药, 2020, 15(17): 2556-2560.
- [8] 何晓梅, 朱富成, 张珍林, 等. 不同年生栽培白及各成分含量及对 ABTS⁺ 的清除作用 [J]. 枣庄学院学报, 2020, 37(5): 83-89.

- [9] 王芳, 张硕, 兰进, 等. 种植年限对栽培白及不同部位多糖和多酚的影响 [J]. 山东化工, 2022, 51(19): 8-10.
- [10] 张家春, 戚燕强, 韩见宇, 等. 不同龄白及块茎无机元素与药效成分分布特征及相关性研究 [J]. 中药材, 2019, 42(2): 285-288.
- [11] 张新秦, 周涛, 肖承鸿, 等. 种植年限对白及表型性状及土壤理化性质的影响研究 [J]. 中药材, 2020, 43(11): 2619-2623.
- [12] 杨平飞, 宋智琴, 刘海, 等. 不同生长年限白及生长旺盛期农艺性状与质量 [J]. 北方园艺, 2017(10): 140-144.
- [13] 张新秦, 周涛, 肖承鸿, 等. 贵州不同产地白及品质综合评价 [J]. 中药材, 2020, 43(2): 368-373.
- [14] 周海婷, 陈志敏, 赵永峰, 等. 不同产地白及野生品与栽培品质量比较研究 [J]. 亚太传统医药, 2019, 15(3): 50-54.
- [15] 韩雪, 曾庆鸿, 牛敏敏, 等. 不同产地鲜品白及的多糖含量测定 [J]. 农技服务, 2020, 37(12): 34-35.
- [16] 龙小琴, 戴应和. 蒽酮-硫酸显色法测定白及块茎与非药用部位中白及多糖含量的比较研究 [J]. 农业与技术, 2021, 41(13): 30-32.
- [17] 吴风云, 邱丽莎, 崔秀明, 等. 白及品质特征影响因素研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2016, 36(21): 1838-1844.
- [18] 周斌, 朱艳, 舒童, 等. 铜仁市白及药材野生品与栽培品中白及多糖含量对比研究 [J]. 山东化工, 2021, 50(24): 106-108.
- [19] 朱富成, 罗书岚, 郑宣, 等. 大别山白及多糖酶法辅助提取及活性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(8): 1389-1395.
- [20] 周美, 万科, 马凤伟, 等. 响应面法优化白及多糖酶解工艺及其抗氧化、免疫活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 128-135.
- [21] 龚小川, 罗鹏, 李征, 等. 白及的黏膜保护作用研究进展 [J]. 中国处方药, 2023, 21(4): 174-176.
- [22] 孟祥才, 邓代千, 杜虹韦, 等. 高品质道地药材的科学内涵 [J]. 中草药, 2023, 54(3): 939-947.
- [23] 韩广轩, 王立新, 张卫东, 等. 中药白及化学成分研究 (II) [J]. 第二军医大学学报, 2002, 23(9): 1029-1031.
- [24] 秦亚东, 汪荣斌, 方凤满, 等. 化学模式识别分析白及不同采收期次生代谢产物动态变化特征 [J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(1): 11-17.
- [25] 陈默然. 白及苦味改善加工工艺及根 *militarine* 提取纯化研究 [D]. 吉首: 吉首大学, 2022.
- [26] 吴梅, 田守征, 郑永仁, 等. 白及苦味成分的分离、鉴定及抗炎药效学初研 [J]. 时珍国医国药, 2019, 30(2): 372-374.
- [27] 朱环, 张丽萍, 王江聪, 等. 人工栽培与野生白及化学成分差异的多元统计分析 [J]. 药物分析杂志, 2020, 40(6): 1045-1049.
- [28] 段营辉, 黄澜, 朱樵苏, 等. 基于液质联用法对白及中 2-异丁基苹果酸葡萄糖基苄酯类成分的定性定量分析 [J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(9): 1009-1013.
- [29] 何迅, 王爱民, 李勇军, 等. HPLC 测定白及中 *militarine* 含量 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(16): 2076-2078.
- [30] 黄良永, 毛闪闪, 陈黎. HPLC 测定不同产地白及药材中 1,4-二[4-(葡萄糖氧)苄基]-2-异丁基苹果酸酯的含量 [J]. 现代中药研究与实践, 2013, 27(5): 16-19.
- [31] 刘娜, 袁金凤, 彭诗涛, 等. 基于 *militarine* 含量结合 UPLC 指纹图谱的不同产地白及饮片质量分析 [J]. 天津中医药, 2020, 37(5): 583-589.
- [32] 朱新焰, 王小庆, 冯人和, 等. 基于生长年限对白及类药材 *militarine* 成分的积累影响研究 [J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(9): 71-74.
- [33] 王耀, 赵香玉, 李新娅, 等. *Militarine* 改善慢性脑缺血大鼠认知功能障碍及白质损伤的研究 [J]. 药理学报, 2016, 51(5): 738-742.
- [34] 徐晓雪, 徐广涛, 李小鹏, 等. *Militarine* 对离体大鼠胸主动脉环的舒张作用及机制研究 [J]. 中华中医药学刊, 2015, 33(3): 617-620.
- [35] 刘梦, 毕金峰, 刘璇, 等. 浸胀与干燥过程对桃胶色泽及总酚含量的影响 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 105-111.
- [36] 何晓梅, 陈存武, 宋程, 等. 大别山栽培白及不同部位总酚含量测定及其抗氧化活性研究 [J]. 中成药, 2022, 44(2): 656-660.
- [37] 周云凯, 李伟平, 田莎莎, 等. 白及须根和块茎总酚含量的测定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(10): 161-164.
- [38] 陈黎, 楚亚琴, 王启斌, 等. 鄂西北地区白及中总酚含量的测定 [J]. 中国药师, 2013, 16(11): 1679-1682.
- [39] 邱浩, 郭倩, 崔浪军, 等. 根际土壤理化因子与真菌群落对白及产量和质量的影响 [J]. 陕西农业科学, 2022, 68(6): 64-70.
- [40] Xiao C H, Xu C Y, Zhang J Q, *et al.* Soil microbial communities affect the growth and secondary metabolite accumulation in *Bletilla striata* (Thunb.) Rchb. f [J]. *Front Microbiol*, 2022, 13: 916418.
- [41] 权雪, 张石宝. 水分对药用兰科植物白及生理和形态结构的影响 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(3): 370-380.
- [42] 管仁伟, 郭瑞齐, 林慧彬, 等. 基于植物代谢组学技术的干旱及盐胁迫对黄芩中黄酮类成分影响的研究 [J]. 中草药, 2022, 53(5): 1504-1511.
- [43] 李丹丹. 干旱胁迫对紫花苜蓿生理生化和黄酮类化合物含量的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [44] 杨云富, 郭巧生, 张守栋, 等. 水分胁迫对药用白菊花

- 抗干旱生理及药材内在品质的影响 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(4): 486-487.
- [45] 高春燕. 基于代谢组学研究海藻糖促进长春花拮抗低温胁迫机制 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
- [46] 徐友. 温度和光强对银杏生长和次生代谢产物合成的影响 [D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [47] 崔波, 周一冉, 王喜蒙, 等. 不同光照强度下白及光合生理特性的研究 [J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(2): 276-284.
- [48] 袁秀云, 许申平, 周一冉, 等. 遮荫对白及形态及叶片结构的影响 [J]. 植物研究, 2021, 41(6): 974-981.
- [49] 黄珊, 武文军, 孙亚东, 等. 白及对光的生物学响应研究 [J]. 中药材, 2020, 43(8): 1801-1805.
- [50] Zhang M, Luo D, Fang H L, *et al.* Effect of light quality on the growth and main chemical composition of *Bletilla striata* [J]. *J Plant Physiol*, 2022, 272: 153690.
- [51] 刘成才, 饶春梅, 宋昌俊, 等. 种植方式与栽培措施对白及产量和有效成分含量的影响研究 [J]. 中草药, 2021, 52(21): 6669-6676.
- [52] 田鑫, 钟程, 李性苑. 干旱及水涝胁迫处理和恢复后白及的光合特性差异 [J]. 中药材, 2019, 42(4): 715-719.
- [53] 崔波, 程邵丽, 袁秀云, 等. 低温胁迫对白及光合作用及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(5): 891-897.
- [54] 王莹博, 许申平, 马杰, 等. 高温干旱胁迫对白及光合特性及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(2): 199-205.
- [55] Deng P F, Yin R Y, Wang H L, *et al.* Comparative analyses of functional traits based on metabolome and economic traits variation of *Bletilla striata*: Contribution of intercropping [J]. *Front Plant Sci*, 2023, 14: 1147076.
- [56] 夏科, 吴巧芬, 马晓雅, 等. 施肥措施与植物凋落叶基质及林下套种对白及产质量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2023, 51(1): 91-97.
- [57] 赵仁全, 郑颖, 吴刚, 等. 氮肥、钾肥不同用量和施用时期配比对玉米产量的影响 [J]. 山地农业生物学报, 2017, 36(1): 67-70.
- [58] 杨敬之, 尹显慧, 龙友华, 等. 不同施肥处理对甘蓝的农艺性状及产量影响 [J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(1): 50-55.
- [59] 张金霞, 杨平飞, 杨琳, 等. 蚯蚓粪不同施肥方式对白及产量、品质产生的影响 [J]. 中药材, 2019, 42(12): 2764-2766.
- [60] 肖广达. 不同施肥处理对白及药材产量和品质的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2021.
- [61] 张光强, 罗光琼, 周奇, 等. 不同有机底肥及其数量对白及产量的影响 [J]. 医学信息, 2015, 28(10): 259-260.
- [62] 李姣红. 白芨营养特性与施肥效应研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [63] 马菁华, 戚燕强, 任启飞, 等. 氮素营养对白及生长与多糖积累的影响 [J]. 植物生理学报, 2022, 58(2): 331-338.
- [64] 张秀玥, 李明荣, 张启东, 等. 不同微肥施用量对白芨产量及品质的影响 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 31-32.
- [65] 商靓婷. 硼、钼添加对白芨生长及多糖累积的影响 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [66] Ma X X, Tang K H, Tang Z H, *et al.* Organ-specific, integrated omics data-based study on the metabolic pathways of the medicinal plant *Bletilla striata* (Orchidaceae) [J]. *BMC Plant Biol*, 2021, 21(1): 504.
- [67] 张普照, 王俊儒, 龚月桦, 等. 多年生黄精不同龄节物质累积和多糖分布特征 [J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 384-387.
- [68] 吴萍, 郭俊霞, 王晓宇, 等. 环境因子对姜黄产量及品质相关成分的影响 [J]. 中药材, 2019, 42(9): 1969-1972.
- [69] 杨耀文, 钱子刚, 黎勇坤. 草果种子挥发油含量及其影响因素的研究 [J]. 中药材, 2014, 37(3): 388-392.
- [70] 曾燕, 郭兰萍, 王继永, 等. 基于微量热法的不同来源黄芩抑菌活性对比研究 [J]. 中国现代中药, 2017, 19(9): 1262-1269.

[责任编辑 赵慧亮]