

熊鹏飞,周颖,孙超,等.不同种植年限白芨块茎微量元素含量、富集特征及其影响因素研究[J].江苏农业科学,2021,49(21):165-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.21.026

不同种植年限白芨块茎微量元素含量、富集特征及其影响因素研究

熊鹏飞¹,周颖¹,孙超²,张家春¹,王永¹,郑昕¹,周鑫伟¹,韩见宇¹

(1. 贵州省植物园,贵州贵阳 550004; 2. 中国科学院贵州省天然产物化学重点实验室,贵州贵阳 550002)

摘要:以不同种植年限白芨块茎及土壤为研究对象,分析不同种植年限白芨块茎微量元素及土壤氮磷钾、微量元素含量特征,探讨其吸收关系。结果表明,根据全国第二次土壤普查养分分级标准,种植白芨土壤氮素营养低,磷素营养适中,钾素营养较高;种植 2 年时白芨块茎各微量元素含量最高,而土壤中各微量元素含量较低;不同种植年限白芨块茎、土壤微量元素含量均表现为 $Fe > Mn > Zn > Ni$;白芨块茎对土壤微量元素富集能力随种植年限先增强后减弱;白芨块茎微量元素与土壤营养元素之间具有一定的相关性。

关键词:种植年限;白芨;土壤;微量元素;富集特征;相关性

中图分类号: S567.23+9.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)21-0165-05

微量元素作为中药材的重要组分,其种类与含量直接影响中药材的品质及疗效^[1]。微量元素可以直接参与植物体内的各种生理生化反应而影响植物化学成分的形成与累积,进而影响中药材的药理活性与品质,同时与中药活性成分在人体内的相互作用可以促进机体自身调节^[2]。其中,铁直接参与植物体内多种生理活性蛋白质的形成^[3];锌是植物体内多种代谢反应所必需的微量元素,既是酶的重要组分,同时也是参与各种酶促反应辅助因子^[4];作为叶绿体的组成成分之一,锰直接参与光合作用的光反应过程,有助于植物光合能力的提高,从而促进植物生长发育^[5];作为植物体内脲酶的必需元素,有研究表明,低浓度的镍可以促进植物生长,达到增产效果,而高浓度镍却抑制植物的

生长^[6]。有研究发现,半夏、鱼腥草等铁元素和黄酮类化合物的含量均较高,且总黄酮量与铁元素的含量具有正相关关系^[7];增施锌肥有利于提高菊花总黄酮和绿原酸含量^[8];对丹参施用铁、铜、锰、锌肥,高丹参素含量显著提高^[9]。氮、磷、钾是中药材所必需的大量营养元素,在影响中药材根系营养的同时,也可以促进中药材的生长发育及代谢,因此任何元素的缺失都会影响中药材的产量及品质^[10-12]。

白芨 [*Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f.] 为兰科植物白芨的干燥块茎,是我国传统大宗药材。白芨味苦、甘、涩,微寒,入归肺、肝、胃经,有止血收敛、消肿生肌的功效^[13]。关于白芨的矿质营养元素特别是微量元素含量的研究,对白芨的药用价值研究具有十分重要的意义。但是,目前关于白芨的研究主要集中在种质资源^[14-15]、繁育^[16-17]、栽培^[18-19]、成分及药理研究^[20-22]、矿质元素吸收规律^[23]、野生生境无机元素含量情况及无机元素与药效成分的关系^[24-25]等,而关于不同种植年限白芨块茎微量元素及其富集的影响因素鲜有报道。本研究测定不同种植年限白芨块茎微量元素与土壤营养元素、微量元素的含量,探究土壤营养元素对白芨块茎中微量元素含量的影响,讨论白芨块茎对土壤微量元素的富集特征,从而为栽培高品质白芨提供理论依据。

收稿日期:2021-03-25

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合支撑[2016]2860、黔科院SY字[2017]06、黔科合支撑[2017]2827);贵州省林业科研项目(编号:黔林科合[2016]07号);贵州省高层次创新型人才培养项目(编号:黔科合平台人才[2016]5666);贵州省科技创新人才团队建设(编号:黔科合人才团队[2015]4012号);贵州科学院青年基金(编号:黔科院J字[2019]05号);贵阳市联合基金(编号:筑科合同[2017]30-41号);农业部海藻类肥料重点实验室开放基金(编号:MAKLSF1817)。

作者简介:熊鹏飞(1988—),男,贵州思南人,硕士,助理研究员,主要从事药用植物栽培研究。E-mail:395128558@qq.com。

通信作者:张家春,硕士,高级工程师,主要从事农业资源与环境研究。E-mail:zhangjiachun198806@163.com。

1 材料与方法

1.1 样地概况

样地位于贵州省施秉县双井镇与杨柳塘镇 ($108^{\circ}09'30'' \sim 108^{\circ}18'36''\text{E}$, $26^{\circ}30'18''27^{\circ}13'48''\text{N}$), 海拔 890 ~ 950 m, 平均气温 14 ~ 16 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 250 ~ 300 d, 年降水量 1 060 ~ 1 200 mm。样地土壤以黑色石灰土较多, 兼黄棕壤、黄壤等, 种植 1 年的白芨生长土壤为中性, 种植 2 年为弱酸性, 种植 3 年为弱碱性。白芨生长土壤有机质种植 1 年为 14.31 g/kg、种植 2 年为 28.31 g/kg, 种植 3 年为 19.61 g/kg^[24]。

1.2 样品采集

种植面积共 26.67 hm^2 , 其中种植 1 年 12 hm^2 , 种植 2 年 10 hm^2 , 种植 3 年 4.67 hm^2 。以梅花形布点方法采集土壤样品, 采集深度为 0 ~ 20 cm, 充分混匀后用四分法反复取舍后保留 1 kg 作为该样区土壤样品。采集不同种植年限白芨生长土壤样品共 9 个, 其中种植 1 年、2 年、3 年白芨土壤样品分别 3 个。同时在采集土壤样品时, 在对应点采集不同种植年限白芨块茎作为样品, 共采集白芨块茎样品 9 个, 不同种植年限白芨块茎样品各 3 个。

1.3 样品制备

将采集的土壤样品装入干净的编号布袋带回, 均匀平铺于干净塑料膜上, 晾至半干后压碎, 去除杂物, 置于通风阴凉处自然风干。待样品风干后充分混匀, 采取四分法分一半保存备用, 另一半研磨后先过 2 mm 尼龙网筛, 取 20 g 左右用玛瑙研钵细研后过 0.15 mm 尼龙网筛, 混合均匀待用。白芨块茎先清洗除杂、去除须根, 然后洗净, 后用沸水煮至无白心, 取出自然风干后粉碎, 过 60 目筛, 充分混合均匀后待用。

1.4 样品测定方法

白芨块茎与土壤微量元素 Fe、Mn、Zn、Ni 的测定方法^[26]: 准确称取试样 2.5 g, 采用 $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ 加热消解, 以 ICP-MS 测定, 测定过程严格按照国家标准进行。

1.5 富集系数的计算及统计分析

富集系数 (BCF) 是评价白芨块茎对土壤中无机元素富集能力的指标^[27], 其公式为 $BCF = C_i / S_i$ 。式中, BCF 为无机元素 i 的富集系数, C_i 为无机元素 i 在植物中的含量, S_i 为无机元素 i 在生长介质 (如土壤) 中的含量。

试验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 21 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限白芨土壤氮磷钾含量

由图 1 可知, 不同种植年限白芨土壤全氮、全磷、全钾含量差异不显著。种植 2 年白芨土壤碱解氮、有效磷含量显著高于种植 1 年、2 年, 种植 1 年、2 年土壤速效钾含量显著高于种植 3 年。不同种植年限白芨土壤碱解氮、有效磷含量变化规律为种植 2 年 > 种植 3 年 > 种植 1 年, 速效钾含量变化规律为种植 2 年 > 种植 1 年 > 种植 3 年。以全国第二次土壤普查养分分级标准为参照, 不同种植年限白芨生长土壤全氮含量很低, 均为 6 级; 全磷含量较高, 其中种植 2 年为 2 级, 种植 1 年及 3 年为 3 级; 全钾含量高, 均为 2 级。不同种植年限白芨土壤碱解氮含量很低, 均为 5 级; 有效磷含量较低, 其中种植 2 年为 3 级, 种植 1 年、3 年仅为 4 级; 种植 1 年、2 年速效钾含量较高, 其中种植 2 年最高, 为 2 级, 种植 1 年为 3 级, 种植 3 年为 4 级。

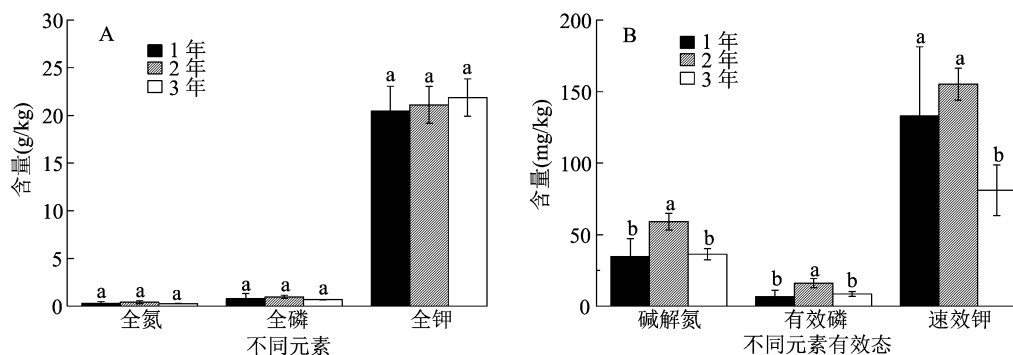


图1 不同种植年限白芨生长土壤不同元素及其有效态含量特征

2.2 不同种植年限白芨块茎微量元素特征

由表 1 可知,不同种植年限白芨块茎微量元素 Fe、Mn、Ni、Zn 含量之间存在显著性差异,均表现为种植第 2 年含量最高。微量元素 Fe 在种植 2 年含量显著高于种植 1 年、3 年,分布特征表现为种植 2 年 > 种植 3 年 > 种植 1 年。微量元素 Mn 在种植 2 年含量显著高于种植 1 年、3 年,分布特征表现为种植 2 年 > 种植 1 年 > 种植 3 年。微量元素 Ni 在种

植 2 年白芨块茎中的含量显著高于种植 1 年、3 年 ($P < 0.05$),种植 1 年、3 年含量之间差异不显著,分布特征表现为种植 2 年 > 种植 3 年 > 种植 1 年,变化规律与 Fe 相同。微量元素 Zn 在种植 2 年含量显著高于种植 1 年、3 年 ($P < 0.05$),分布特征表现为种植 2 年 > 种植 1 年 > 种植 3 年,变化规律与 Mn 相同。不同种植年限白芨块茎微量元素含量均表现为 Fe > Mn > Zn > Ni。

表 1 不同种植年限白芨块茎微量元素特征 ($n=3$)

元素	1 年		2 年		3 年	
	含量(mg/kg)	变异系数(%)	含量(mg/kg)	变异系数(%)	含量(mg/kg)	变异系数(%)
Fe	247.60 ± 61.90c	25.00	395.97 ± 32.35a	8.16	278.63 ± 116.89b	41.95
Mn	44.30 ± 9.36b	21.13	71.05 ± 7.74a	10.90	14.84 ± 0.61c	4.11
Ni	1.20 ± 0.11b	9.03	3.33 ± 0.21a	6.15	1.47 ± 65.00b	44.64
Zn	20.17 ± 1.86b	9.20	27.21 ± 0.87a	3.19	11.33 ± 4.64c	40.97

注:同行数据后不同小写字母表示不同种植年限间差异显著 ($P < 0.05$)。表 2 同。

2.3 不同种植年限白芨土壤微量元素特征

由表 2 可知,不同种植年限白芨土壤各元素含量均表现为种植 2 年含量最低,变化规律均表现为先降低后增加趋势,不同元素间表现为 Fe > Mn > Zn > Ni。其中,微量元素 Fe、Ni 在种植 1 年、3 年含量显著高于种植 2 年 ($P < 0.05$),分布特征表现为

种植 3 年 > 种植 1 年 > 种植 2 年;微量元素 Mn、Zn 在种植 3 年含量显著高于种植 1 年、2 年 ($P < 0.05$),种植 1 年显著高于种植 2 年 ($P < 0.05$),分布特征与 Fe、Ni 含量相同,表现为种植 3 年 > 种植 1 年 > 种植 2 年。

表 2 不同种植年限白芨土壤微量元素特征 ($n=3$)

元素	1 年		2 年		3 年	
	含量(mg/kg)	变异系数(%)	含量(mg/kg)	变异系数(%)	含量(mg/kg)	变异系数(%)
Fe	4 702.50 ± 198.50a	4.22	2 402.67 ± 169.31b	7.05	4 863.33 ± 271.96a	5.59
Mn	77.24 ± 11.92b	15.43	46.78 ± 7.14c	15.27	178.07 ± 9.43a	5.30
Ni	6.40 ± 0.64a	10.05	2.72 ± 0.53b	19.28	7.15 ± 0.36a	5.08
Zn	9.51 ± 1.81b	19.01	5.08 ± 0.34c	6.71	11.97 ± 0.48a	4.00

2.4 不同种植年限白芨块茎对微量元素富集特征

植物的富集系数通常用来表示植物对无机金属元素吸收能力的强弱。由表 3 可知,不同种植年限白芨块茎对土壤微量元素富集能力表现为随着种植年限的增加呈先增强后减弱趋势,说明白芨在种植 2 年时对 Fe、Mn、Ni、Zn 等 4 种无机微量元素的富集能力较强。其中,种植 2 年 Fe、Mn、Ni 元素与种植 1 年、3 年差异显著 ($P < 0.05$),种植 1 年与 3 年无显著差异,种植 2 年、1 年、3 年间白芨块茎 Zn 元素存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.5 白芨块茎与土壤氮磷钾及微量元素相关性分析

对白芨块茎微量元素与土壤微量元素之间进

表 3 不同种植年限白芨块茎微量元素的富集系数

年限	富集系数			
	Fe	Mn	Ni	Zn
1 年	0.05b	0.57b	0.19b	2.19b
2 年	0.16a	1.56a	1.26a	5.37a
3 年	0.06b	0.08b	0.20b	0.94c

注:同列数据后不同小写字母表示不同种植年限间差异显著 ($P < 0.05$)。

行相关性分析,结果见表 4。由表 4 可知,块茎 Mn 含量与块茎 Ni、土壤碱解氮、速效钾含量,块茎 Ni 含量与土壤有效磷含量,土壤 Fe 含量与土壤 Mn 含量,土壤 Mn 含量与土壤 Ni 含量,土壤全氮含量与土壤全磷含量,土壤碱解氮含量与土壤有效磷、速

效钾含量呈显著正相关($P < 0.05$)。土壤 Fe 含量与土壤有效磷,土壤 Mn 含量与土壤速效钾含量,土壤 Ni 含量与土壤有效磷含量,土壤 Zn 含量与土壤碱解氮、速效钾含量呈显著负相关($P < 0.05$)。块茎 Fe 含量与块茎 Ni 含量,块茎 Mn 含量与块茎 Zn 含量,块茎 Ni 含量与土壤碱解氮含量,土壤 Fe 含量与土壤 Ni、Zn 含量,土壤 Mn 含量与土壤 Zn 含量,土壤 Ni 含量与土壤 Zn 含量呈极显著正相关($P <$

0.01)。白芨块茎 Mn、Zn 含量与土壤 Fe、Mn、Ni、Zn 含量,白芨块茎 Ni 含量与土壤 Fe、Ni、Zn 含量,土壤 Fe、Ni 含量与土壤碱解氮含量呈极显著负相关($P < 0.01$)。白芨块茎 Fe 含量与土壤 Fe 含量,块茎 Mn 含量与土壤 Mn 含量,块茎 Zn 含量与土壤 Zn 含量,块茎 Ni 含量与土壤 Ni 含量均呈负相关,但相关性不显著。

表 4 白芨块茎与土壤微量元素相关性

指标	相关系数													
	块茎 Fe	块茎 Mn	块茎 Ni	块茎 Zn	土壤 Fe	土壤 Mn	土壤 Ni	土壤 Zn	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾
块茎 Fe	1.00													
块茎 Mn	0.44	1.00												
块茎 Ni	0.84 **	0.74 *	1.00											
块茎 Zn	0.34	0.88 **	0.57	1.00										
土壤 Fe	-0.61	-0.84 **	-0.89 **	-0.83 **	1.00									
土壤 Mn	-0.34	-0.93 **	-0.53	-0.93 **	0.72 *	1.00								
土壤 Ni	-0.66	-0.88 **	-0.89 **	-0.83 **	0.98 **	0.78 *	1.00							
土壤 Zn	-0.64	-0.88 **	-0.81 **	-0.87 **	0.92 **	0.87 **	0.97 **	1.00						
全氮	0.48	0.28	0.37	0.51	-0.52	-0.43	-0.53	-0.65	1.00					
全磷	0.28	0.34	0.32	0.42	-0.47	-0.45	-0.49	-0.62	0.80 *	1.00				
全钾	0.47	-0.25	0.09	-0.17	0.06	0.19	0.03	-0.08	0.42	0.35	1.00			
碱解氮	0.52	0.76 *	0.86 **	0.55	-0.86 **	-0.55	-0.86 **	-0.80 *	0.34	0.54	-0.01	1.00		
有效磷	0.42	0.66	0.76 *	0.55	-0.76 *	-0.41	-0.73 *	-0.61	0.21	0.12	-0.03	0.77 *	1.00	
速效钾	0.24	0.74 *	0.49	0.60	-0.55	-0.69 *	-0.61	-0.67 *	0.33	0.55	0.12	0.70 *	0.62	1.00

注:**表示在 0.01 水平上显著相关,*表示在 0.05 水平上显著相关。

3 结论与讨论

土壤是高品质药材种植的基础,土壤中的营养成分是其最重要的组成部分^[28]。土壤中氮磷钾的含量是土壤肥力评价的重要指标^[29]。本研究表明,贵州不同种植年限白芨生长土壤氮素营养与磷素营养相对较低,钾素营养相对较高。林茂祥等报道白芨对氮磷钾 3 种养分的吸收量的顺序是氮 > 钾 > 磷^[23],张家春等报道贵州野生白芨生长土壤的全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾平均含量分别为 6.04 g/kg、0.70 g/kg、7.60 g/kg、340.00 mg/kg、6.84 mg/kg、97.00 mg/kg^[25]。结合本研究,在贵州地区白芨大田种植氮肥缺乏,磷肥适中,钾肥较高,应适当增加氮肥施用与减少钾肥施用。

微量元素作为中药材有效成分之一,在不同药材的分布特征不同^[30]。张家春等对贵州野生白芨生长土壤的土壤微量元素研究^[25]结合本研究结果表明,贵州地区白芨大田种植土壤 Fe、Mn 元素丰

富,种植不同种植年限的白芨块茎及土壤中均 Fe 元素平均含量约是贵州白芨野生环境的 134 倍、Mn 元素约是 2.5 倍,Zn 元素较为适中,约是贵州白芨野生环境的 0.85 倍。在 4 种微量元素中,贵州白芨大田种植 Fe 元素含量最高,其次是 Mn,再次是 Zn,最后是 Ni。

Fe、Mn、Ni、Zn 元素对中药材的生长发育和品质都有着重要的影响,直接参与植物生长发育过程中多种生理代谢活动,影响其根系营养及有机体的正常代谢,对中药材活性成分的形成和累积有着关键作用。白芨是多年生草本植物,人工栽培过程中,一般采收种植 3 年的白芨。本研究表明,随着种植年限的增加,白芨块茎中 Fe、Mn、Ni、Zn 元素含量的平均值均表现为先增加后降低趋势,第 2 年最高;土壤中 Fe、Mn、Ni、Zn 元素含量的平均值均表现为先降低后增加趋势,第 2 年最低。原因是白芨种植第 1 年由于根系生长情况未达到稳定状态,对 Fe、Mn、Ni、Zn 元素吸收较少;种植第 2 年,由于白芨生

长发育旺盛,对 Fe、Mn、Ni、Zn 元素吸收量出现显著性增加;种植第 3 年,由于白芨生长空间变小,影响其生长发育,造成 Fe、Mn、Ni、Zn 吸收降低。

植物对某种重金属的富集系数大于 1 时,认为该植物对该重金属具有富集作用^[31]。在本研究中,种植 2 年白芨块茎 Mn、Ni,种植 1 年、2 年 Zn 的富集系数大于 1,说明白芨种植 2 年对 Mn、Ni,种植 1 年、2 年对 Zn 的富集能力较强。同时本研究得出白芨在种植 2 年时对 Fe、Mn、Ni、Zn 等 4 种无机微量元素元素的富集能力较种植 1、3 年时强。

关于元素间的互作效应,已有研究形成了许多不同的结论,植物体内的微量元素之间、土壤营养元素之间及植物中微量元素与土壤营养元素间具有不同程度的相关性,作物对微量元素的吸收受到作物品种、生境条件、土壤环境条件、土壤营养因子交互作用、施肥方式方法、栽培技术等多种因素的影响^[32]。本研究表明,白芨块茎中的 Ni 含量对白芨块茎吸收 Fe 有显著的促进作用,块茎 Ni、Zn 含量、土壤碱解氮、速效钾含量对白芨块茎吸收 Mn 有显著的促进作用,而土壤 Fe、Mn、Ni、Zn 元素含量对白芨块茎吸收 Mn 有显著的抑制作用,土壤碱解氮、有效磷含量对白芨块茎吸收 Ni 有显著的促进作用,土壤中 Fe、Ni、Zn 含量对白芨块茎吸收 Ni 有显著的抑制作用,土壤中 Fe、Mn、Ni、Zn 含量水平对白芨块茎吸收 Zn 有显著的抑制作用。

参考文献:

- [1] 杨本明. 影响中药材微量元素含量的因素[J]. 中草药,1993,24(4):215-216.
- [2] 周海钧,陆蕴如. 植物药的现状及其前景[J]. 中国药学杂志,1992,27(2):67-71.
- [3] 郑延尚,吴庆海. 浅谈土壤植物营养与农业持续发展[J]. 中国农业信息,2016(21):61.
- [4] 孙桂芳,杨光穗. 土壤-植物系统中锌的研究进展[J]. 华南热带农业大学学报,2002(2):22-30.
- [5] 施益华,刘 鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展[J]. 江西林业科技,2003,31(2):26-28,31.
- [6] 张秀玲,宋光煜. 植物的镍素营养[J]. 土壤肥料,2004(6):33-36.
- [7] 韩丽琴,董顺福,刘建华. 中草药中铁元素与总黄酮含量测定与药效关系分析[J]. 时珍国医国药,2007,18(11):2647-2648.
- [8] 汤 璐,林江辉,闫广轩,等. 铜、锌、硒对药用菊花主要有效成分和花中硒含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6):1475-1480.
- [9] 韩建萍,梁宗锁,张文生. 微量元素对丹参生长发育及有效成分

- 的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):560-563.
- [10] 王康才,唐晓清,吴 健,等. 配方施肥对板蓝根产量和多糖含量的影响[J]. 中国中药杂志,2007,32(24):2588-2591.
 - [11] 王渭玲. 膜荚黄芪营养特性及次生代谢调控的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008:33-34.
 - [12] 程萌萌. 氮磷钾对蒙古黄芪生长发育及次生代谢产物积累的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016:50-51.
 - [13] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:106-107.
 - [14] 任风鸣,刘 艳,李 滢,等. 白芨属药用植物的资源分布及繁育[J]. 中草药,2016,47(24):4478-4487.
 - [15] 周天华,黎 君,丁家玺,等. 白芨种质资源及其近缘种的 SSR 指纹图谱研究[J]. 西北植物学报,2017,37(4):673-681.
 - [16] 史文旋,张跃进. 白芨种子直播繁殖技术研究[J]. 北方园艺,2017(7):160-165.
 - [17] 石云平,李 锋,凌征柱. 白芨组织培养与快速繁殖技术研究[J]. 广西农业科学,2009,40(11):1408-1410.
 - [18] 杨根林,高 云,谭凤琼,等. 不同栽培方式对白芨分蘖及产量的影响[J]. 北方农业学报,2019,47(5):16-19.
 - [19] 张进强,周 涛,肖承鸿,等. 白芨生态种植模式与技术原理分析[J]. 中国中药杂志,2020,45(20):5042-5047.
 - [20] 马先杰,崔保松,韩少伟,等. 中药白芨的化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2017,42(8):1578-1584.
 - [21] 汤逸飞,阮川芬,应 晨,等. 白芨属植物化学成分与药理作用研究进展[J]. 中草药,2014,45(19):2864-2872.
 - [22] 孙爱静,庞素秋,王国权. 白芨化学成分与抗肿瘤活性研究[J]. 中国药学杂志,2016,51(2):101-104.
 - [23] 林茂祥,韩 凤,刘 杰,等. 白芨氮、磷、钾养分的吸收与分配[J]. 中药材,2017,40(2):253-257.
 - [24] 张家春,孙 超,李朝桢,等. 不同种植年限白芨土壤有机质、酶活性与白芨有效成分研究[J]. 中药材,2020,43(1):1-4.
 - [25] 张家春,林昌虎,杨钧屹,等. 贵州野生白芨生长土壤的化学特性及微量元素特征分析[J]. 西南农业学报,2019,32(8):1839-1844.
 - [26] 罗益远,刘娟秀,侯 娅,等. 何首乌不同产地及商品药材中无机元素的 ICP-MS 分析[J]. 中草药,2015,46(7):1056-1064.
 - [27] 李天杰. 土壤环境学[M]. 北京:高等教育出版社,1996:58-59.
 - [28] 庞博文,李永梅,徐昆龙,等. 蚯蚓堆肥影响土壤健康和作物生长的研究进展[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):29-35.
 - [29] 骆东奇,白 洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境,2002,11(2):202-205.
 - [30] 房海灵,郭巧生,邵清松. 野菊花中元素分布特征及相关性和主成分分析[J]. 中国中药杂志,2010,35(18):2432-2436.
 - [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中铬的测定:GB 5009.123—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
 - [32] 潘胜强,李 彬,邓 玉,等. 白果中微量元素与土壤营养因子相关性分析[J]. 湖南林业科技,2019,46(4):1-10.