

## 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

刘成才<sup>1</sup>, 饶春梅<sup>2</sup>, 宋昌俊<sup>2</sup>, 余马<sup>1</sup>, 帕塔姆汗·阿布杜合力克<sup>1</sup>, 戴明月<sup>1</sup>, 侯大斌<sup>1</sup>, 龙晓燕<sup>1</sup>, 唐志康<sup>1\*</sup>

1. 西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621000

2. 四川省乐山市农业科学研究院, 四川 乐山 614000

**摘要:** 目的 研究不同种植方式、遮阴度及施肥对白及 *Bletilla striata* 产量和品质的影响, 确定最适种植方式和栽培管理措施, 为白及规范化、规模化种植提供科学依据。方法 采用3因素4水平正交设计进行田间试验, 研究种植方式、遮阴度、施肥对2年生“川及1号”产量、多糖含量、1,4-二[4-(葡萄糖氧)苄基]-2-异丁基苹果酸酯含量的影响。结果 不同种植方式与栽培措施对生长指标有显著影响; 种植方式、遮阴度对块茎干质量、多糖及苹果酸酯含量有显著影响, 施肥量对块茎干质量、多糖与苹果酸酯含量影响不显著。当采用覆膜栽培(A2)时, 块茎干质量 [ $(1\ 784.51 \pm 100.01)$  kg/hm<sup>2</sup>]、多糖 [ $(39.04 \pm 0.28)$  %] 与苹果酸酯含量 [ $(7.72 \pm 0.45)$  %] 均达到最高; 当采用25%遮阴处理(C2)时, 多糖含量最高, 达到  $(39.31 \pm 0.28)$  %, 无遮阴处理(C1)的苹果酸酯含量最高, 达到  $(7.61 \pm 0.83)$  %。结论 不同种植方式与栽培措施对白及产量与品质影响差异显著。“川及1号”适宜种植方式为覆膜栽培, 采取25%的遮阴处理, 高肥力土壤背景下150 kg/hm<sup>2</sup>为较适施肥量。

**关键词:** 白及; 种植方式; 遮阴度; 块茎干质量; 白及多糖; 苹果酸酯

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)21-6669-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.21.025

## Influences of different planting methods and cultivation measures on the yield and effective components of *Bletilla striata*

LIU Cheng-cai<sup>1</sup>, RAO Chun-mei<sup>2</sup>, SONG Chang-jun<sup>2</sup>, YU Ma<sup>1</sup>, PATAMUHAN·Abuduhelike<sup>1</sup>, DAI Ming-yue<sup>1</sup>, HOU Da-bing<sup>1</sup>, LONG Xiao-yan<sup>1</sup>, TANG Zhi-kang<sup>1</sup>

1. College of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China

2. Leshan Institute of Agricultural Sciences, Sichuan Province, Leshan 614000, China

**Abstract: Objective** The effects of different planting methods, shading and amount of fertilizer on the yield and quality of *Bletilla striata* were studied. The optimum planting methods and cultivation management measures were determined, which will provide a scientific basis for the *Bletilla striata* of GAP. **Methods** In this study, the field experiment was carried out with three-factor and four-level orthogonal design to study the effects of planting methods, shading and fertilization on the yield, polysaccharide content and militarine content of 2-year-old *Bletilla striata* 'Chuan Ji No.1'. **Results** The different planting methods and cultivation measures has significant differences in the growth index of *Bletilla striata*. The planting methods and shading have significant influence on the dry weight tuber, the content of *Bletilla striata* polysaccharide and militarine, while the amount of fertilization has no significant influence. When the mulching cultivation(A2) was used, the dry weight of tuber ( $1\ 784.51 \pm 100.01$ ) kg/hm<sup>2</sup>, polysaccharide ( $39.04 \pm 0.28$ ) % and militarine ( $7.72 \pm 0.45$ )% of *Bletilla striata* are the highest. When the 25% (C2) shading treatment was used, the content of polysaccharide is ( $39.04 \pm 0.28$ )%, and the 0% shading treatment (C1) of militarine is ( $7.61 \pm 0.83$ )%. **Conclusion** Different planting method and cultivation measures can change the yield and effective components of *Bletilla striata*. The suitable planting method of *Bletilla striata*, *Chuan Ji No.1*, is mulching cultivation, adopting 25% shading treatment, and under the background of high fertility soil, 150 kg/hm<sup>2</sup> is the appropriate fertilizer amount.

**Key words:** *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f.; planting methods; shading; dry weight of tuber; polysaccharide; militarine

收稿日期: 2021-03-02

基金项目: 四川省重点研发计划(2018SZ0095); 四川省重点研发项目(2020YFS0327); 四川省科技创新苗子工程(2019-06); 四川省大学生创新创业训练计划项目(S201910619049)

作者简介: 刘成才(1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事名贵中药材种苗繁育技术研究。E-mail: 1290581112@qq.com.

\*通信作者: 唐志康, 男, 博士, 副研究员, 主要从事道地中药材资源评价与品种选育研究。Tel/Fax: (0816)6089523 E-mail: tzkyaan@swust.edu.cn

白及 *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f. 为兰科白及属多年生草本植物, 喜温暖、湿润、阴凉环境<sup>[1]</sup>。白及以块茎入药, 具有收敛止血、消肿生肌<sup>[2]</sup>等功效, 临床上常用于体内外出血症、烫烧伤、免疫抑制、胃穿孔等相关疾病的治疗<sup>[3-5]</sup>。白及多糖具有止血、促进创面愈合等作用<sup>[6]</sup>, 1,4-二[4-(葡萄糖氧)苄基]-2-异丁基苹果酸酯 (militarine, 以下简称苹果酸酯) 具有益智、延缓衰老以及防止老年痴呆等作用<sup>[7]</sup>, 《中国药典》2020年版将苹果酸酯含量 (不少于2%) 作为白及成品质量控制的重要指标<sup>[2]</sup>。白及在美容化妆品、橡胶制品、高级陶瓷、纺织印染、特种涂料和日用化工等领域也有广泛应用<sup>[8]</sup>。随着市场需求逐年增长, 白及种植面积快速增加, 白及规范化种植技术研究刻不容缓。

前人已围绕白及栽培方式、套种模式、适宜遮阴度<sup>[9-16]</sup>等开展了研究, 但白及生长还受品种、施肥、土壤类型、降水、气温等多重因素影响, 要获得科学、规范的白及栽培管理技术, 亟需系统研究种植方式和栽培措施对白及产量和品质的影响。本试验采用4因素3水平正交设计进行田间试验, 通过对不同种植方式、遮阴度和施肥水平处理后对白及产量及品质影响的研究, 明确白及优质高产的技术方案, 为四川地区白及规范化种植有关标准制定提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

材料为本课题组经系谱法选育而成的白及栽培新品种, 经四川省非主要农作物品种认定委员会认定为“川及1号”(川认药2021006), 由四川省乐山市农业科学研究院饶春梅研究员鉴定为兰科白及属植物白及 *B. striata* (Thunb.) Reichb. f. 2年生组培苗。

### 1.2 仪器与试剂

TU-1950型双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); DHG-9246型电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); ESJ200-4型电子天平(沈阳龙腾电子有限公司); HH-2型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); HX-200型高速中药粉碎机(浙江永康溪岸五金药具厂); PerkinElmer Series 200液相色谱仪(美国铂金埃尔默厂商); KQ5200DV型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); D-无水葡萄糖(批号110833-201707, 质量分数为99.5%) 购自中国食品

药品检定研究院; 1,4-二[4-(葡萄糖氧)苄基]-2-异丁基苹果酸酯对照品(批号20200230, 质量分数为99.5%) 购自成都埃法生物科技有限公司。

## 2 方法

### 2.1 试验设计

试验在四川省绵阳市涪城区西南科技大学龙山教学实习基地进行。试验地概况: 黄色壤土; pH值为6.36; 有机质含量为76.30 g/kg; 土壤全氮含量为6.04 g/kg; 全磷含量为0.70 g/kg; 全钾为7.60 g/kg; 碱解氮为340.07 mg/kg; 速效磷为6.84 mg/kg; 速效钾为97.93 mg/kg。采用3因素4水平正交试验设计, 设置种植方式(A)、施肥量(B)和遮阴度(C)3个因素、4个水平, 共16个处理, 3次重复, 随机排列; 探究种植方式和栽培措施对白及产量与有效成分含量的影响。种植方式分别为露地栽培、覆膜栽培(露地上覆盖黑色防草布)、床式栽培[钢架栽培床长(3.0 m)×宽(1.2 m), 栽培床离地面20 cm, 将栽培床下20 cm厚土壤取出平铺床厢内]、盆式栽培(将盆下20 cm厚土壤取出放入5号加仑盆中); 施肥量设置150、225、300、375 kg/hm<sup>2</sup> 4个处理; 遮阴度设置0、25%、50%、75% 4个处理; 小区面积3.6 m<sup>2</sup>, 每个小区栽种40株, 试验设计见表1。

### 2.2 种植方法及田间管理

选择生长均匀一致的白及种苗(出圃苗高15.00 cm以上, 假鳞茎直径1.0 cm以上, 具嫩芽, 3片叶以上)于2019年4月1日栽种, 行株距为30×30 cm<sup>2</sup>。种植前深挖排水沟, 锄草、浇水按正常管理进行; 肥料为金正大生态工程集团股份有限公司生产的硫酸钾型复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 17:17:17), 1次作底肥, 2次作追肥, 施肥比例为(4:3:3), 5月10日、7月10日追肥, 间隔30 d结合浇水时叶面辅助喷施1%磷酸二氢钾水溶液; 5月10日进行遮阴处理。

### 2.3 白及生长指标测定

9月30日, 每个小区随机取样10株白及植物统计株高、叶面积、分茎数、须根数、须根鲜质量、冠鲜质量、块茎鲜质量, 块茎除杂后切片置于55℃烘箱中干燥至恒定质量计算折干率。

### 2.4 白及多糖含量测定

材料为“2.3”项中完成块茎干种质量测定后的白及块茎切片, 采用蒽酮-硫酸法测定白及多糖含量<sup>[17]</sup>, 其中吸光度(Y)与葡萄糖质量浓度(X)的标准曲线线性回归方程为 $Y=4.2247X+0.0487$ ,  $R^2=0.9993$ 。

表1 试验设计处理  
Table 1 Experiment design

试验号	处理	A		B		C	
		水平	种植方式	水平	施肥量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	水平	遮阴度/%
T1	A1B1C1	1	露地栽培	1	150	1	0
T2	A1B2C2	1	露地栽培	2	225	2	25
T3	A1B3C3	1	露地栽培	3	300	3	50
T4	A1B4C4	1	露地栽培	4	375	4	75
T5	A2B1C2	2	覆膜栽培	1	150	2	25
T6	A2B2C1	2	覆膜栽培	2	225	1	0
T7	A2B3C4	2	覆膜栽培	3	300	4	75
T8	A2B4C3	2	覆膜栽培	4	375	3	50
T9	A3B1C3	3	床式栽培	1	150	3	50
T10	A3B2C4	3	床式栽培	2	225	4	75
T11	A3B3C1	3	床式栽培	3	300	1	0
T12	A3B4C2	3	床式栽培	4	375	2	25
T13	A4B1C4	4	盆式栽培	1	150	4	75
T14	A4B2C3	4	盆式栽培	2	225	3	50
T15	A4B3C2	4	盆式栽培	3	300	2	25
T16	A4B4C1	4	盆式栽培	4	375	1	0

2.5 苹果酸酯含量测定

依据《中国药典》2020版四部通则<sup>[18]</sup>,采用高效液相色谱法(HPLC)测定白及块茎中的苹果酸酯含量<sup>[18-20]</sup>。

2.5.1 色谱条件 色谱柱: Agilent Zorbax-A2000 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为0.1%磷酸水溶液(A)-乙腈(B); 梯度洗脱, 0~5 min, 5%~20%B; 5~25 min, 20%~35%B; 25~45 min, 35%~60%B; 体积流量 1.0 mL/min; 检测波长 223 nm; 柱温 30 °C; 进样量 10 μL。色谱图见图 1。

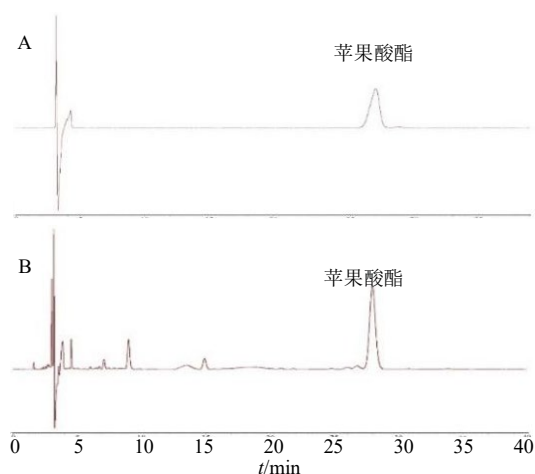


图1 苹果酸酯对照品(A)和样品(B)高效液相色谱图  
Fig. 1 HPLC analysis of militarine (A) and *B. striata* sample (B)

2.5.2 对照品溶液制备 精密称取苹果酸酯对照品 13.64 mg, 置 100 mL 量瓶中, 加稀乙醇溶解并稀释至刻度, 摇匀, 作为 0.136 4 mg/mL 苹果酸酯对照品储备溶液, 精密量取 2 mL, 置 5 mL 量瓶中加稀乙醇溶解并稀释至刻度, 摇匀, 作为对照品溶液。

2.5.3 供试品溶液制备 取白及 100 g, 粉碎, 粉末过 3 号筛, 取粉末约 0.203 5 g, 精密称定, 置具塞锥形瓶中, 精密加入稀乙醇 25 mL, 精密称定质量, 超声处理(功率 300 W、频率 37 kHz) 30 min, 放冷, 再称定质量, 用稀乙醇补充减失的质量, 滤过, 作为供试品溶液。

2.5.4 专属性实验 精密量取“2.5.2”项下对照品溶液和样品溶液 10 μL, 按照“2.5.1”项色谱条件测定, 记录色谱图, 在样品溶液色谱图中有与对照品溶液色谱图中苹果酸对应的色谱峰, 该色谱峰与相邻色谱峰分离度均大于 1.5。

2.5.5 标准曲线的绘制 精密量取对照品储备溶液 0.25、0.50、1.0、2.0、2.5、5.0 mL, 分别置 5 mL 量瓶中, 用稀乙醇稀释至刻度, 摇匀, 作为供试品溶液(6.82、13.64、27.28、54.56、68.20、136.4 μg/mL); 按“2.2.1”项色谱条件测定; 记录色谱图, 以峰面积为纵坐标(Y), 苹果酸酯对照品质量浓度为横坐标(X), 制备标准曲线, 得回归方程  $Y=24.139 X-1.109 3$ ,  $R^2=0.999 9$ , 线性范围 6.82~136.4 μg/mL。

**2.5.6 精密度试验** 取苹果酸酯对照品溶液,按“2.5.1”项下方法重复进样6次,苹果酸酯峰面积变化的RSD为0.651%,表明方法精密度较好。

**2.5.7 重复性试验** 取“2.5.3”项下白及细粉(T1)约0.2g,精密称定,共6份,按“2.2”项下方法制备样品溶液;按“2.5.1”项下色谱条件进样测定,苹果酸酯平均质量分数为8.24 mg/g, RSD为0.752%,表明方法的重复性较好。

**2.5.8 加样回收率试验** 取“2.5.3”项下白及粉末(T1)适量(约0.1g),共6份,精密称定,分置具塞锥形瓶中,每份中精密加入对照品储备液6.0 mL和入稀乙醇19 mL,精密称定质量,超声处理(功率300 W、频率37 kHz)30 min,放冷,再称定质量,用稀乙醇补充减失的质量,滤过,作为供试品溶液;按“2.5.1”项下方法测定,计算苹果酸酯加样回收率为98.50%,RSD值为1.33%。

**2.6 数据处理与分析**

采用 SPSS25.0 进行方差分析和主效应检验,

Graph Pad Prism 用于绘制直方图。

**3 结果与分析**

**3.1 不同种植方式与栽培措施下白及生长指标的测定**

不同种植方式与栽培措施处理后(表2),白及株高、叶面积、须根数、须根鲜质量、冠鲜质量、块茎鲜质量均有极显著差异,仅分茎数差异不显著。16个处理的平均株高40.18 cm,其中T3株高最大为50.79 cm, T14最小为28.72 cm;分茎数平均为7.56个,其中T13最大为9.00个, T10最小为6.33个;叶面积平均为54.63 cm<sup>2</sup>,其中T2最大为50.79 cm<sup>2</sup>, T13最小为28.72 cm<sup>2</sup>;须根数平均为87.02个,其中T11最多为121.00个, T15最少为62.67个;须根鲜质量平均为18.44 g,其中T8最大为23.27 g, T14最小为13.52 g;冠鲜质量平均为51.32 g,其中T2平均冠鲜质量最大为78.37 g, T11最少为33.04 g;冠鲜质量平均为46.25 g,其中T8最大为64.11 g, T10最低为34.64 g。

表2 种植方式与栽培措施对白及植物生长指标的影响

Table 2 Effects of planting methods and cultivation measures on *B. striata*. and plant growth index

试验号	株高/cm	分茎数	叶面积/cm <sup>2</sup>	须根数	须根鲜质量/(g·株 <sup>-1</sup> )	冠鲜质量/(g·株 <sup>-1</sup> )	块茎鲜质量/(g·株 <sup>-1</sup> )
T1	42.44±0.16f	7.67±0.33	65.62±4.89bc	102.33±3.84bc	16.25±0.45dcefg	45.24±1.01gh	42.14±2.10cdef
T2	43.73±0.17de	7.67±0.67	56.55±4.46bcd	73.33±2.85efg	18.40±1.02bcde	78.37±0.58a	46.42±2.30cde
T3	50.79±0.24a	7.67±0.88	45.94±4.00de	83.67±3.18def	17.21±0.96cdefg	58.67±0.85d	50.72±2.50bc
T4	47.35±0.33b	7.33±0.88	44.99±4.14de	86.33±3.33cdef	15.69±0.89fgh	46.76±0.46gh	45.52±2.26bcdef
T5	48.14±0.11b	7.67±0.33	66.41±4.66bc	104.33±3.84abc	21.45±1.15ab	70.00±0.49b	63.00±3.06a
T6	39.12±0.08h	7.33±0.33	82.42±5.23a	87.33±5.31cde	20.83±1.13ab	51.98±0.67f	53.38±2.62ab
T7	39.52±0.14h	7.00±0.58	65.24±4.92bc	74.33±2.85efg	21.41±1.15ab	54.38±0.77ef	50.86±1.08bc
T8	41.21±0.14g	7.00±0.58	63.64±5.09bc	68.00±4.04fg	23.27±1.24a	65.31±0.87fc	64.11±0.64a
T9	39.45±0.08h	6.67±0.88	52.21±4.54cd	86.33±3.33cdef	19.34±1.06bcde	43.05±0.69h	36.14±1.83ef
T10	43.09±0.08ef	6.33±0.88	67.76±4.47b	101.33±3.84bcd	19.86±1.08bc	46.36±1.08gh	34.64±1.76f
T11	45.53±0.19c	9.33±0.33	58.71±4.97bcd	121.00±4.51a	19.49±1.07bcd	33.04±0.42i	38.36±1.93def
T12	44.14±0.09d	7.33±0.33	63.39±5.13bc	106.67±3.67ab	21.35±1.15ab	43.00±0.64h	39.22±1.97def
T13	29.69±0.06j	9.00±0.58	33.62±3.42e	82.00±3.00ef	16.63±0.94cedfgh	35.82±0.46i	49.08±2.42bcd
T14	28.72±0.10k	8.33±0.33	34.13±3.33e	69.67±2.67efg	13.52±0.79h	47.52±0.45g	44.84±2.23bcdef
T15	28.79±0.14k	7.33±0.33	36.03±3.36e	62.67±2.19g	14.15±0.82gh	57.72±1.13de	40.80±2.04cdef
T16	31.15±0.18i	7.33±0.33	37.41±3.71e	83.00±3.00def	16.12±0.91efgh	43.92±0.70gh	40.74±2.04cdef

小写字母代表不同处理在5%水平差异显著(P<0.05)

Lowercase letters represented significant difference different treatments at the 5% level (P<0.05)

**3.2 种植方式与栽培措施对白及产量与主要成分的影响**

**3.2.1 种植方式与栽培措施对白及产量的影响** 不同处理间白及块茎干质量主效应检验结果表明(表3),不同种植方式、不同遮阴度处理对白及块茎干质量的影响极显著,不同施肥量对白及块茎干质量的影响不显著,种植方式与施肥量间存在交互作用,  $F_{\text{块茎干质量}}=0.541 (P>0.05)$ 。其中,偏  $\eta^2 (\eta^2)$  中,

种植方式  $\eta^2_{\text{块茎干质量}}=0.708$ , 遮阴度  $\eta^2_{\text{块茎干质量}}=0.269$ , 即种植方式对白及块茎干质量的影响要大于遮阴度对块茎干质量的影响。

**3.2.2 种植方式与栽培措施对白及有效成分的影响** 不同处理间白及多糖含量的主效应检验结果表明(表4),不同种植方式与遮阴度对白及多糖含量有极显著影响,其中种植方式  $\eta^2_{\text{白及多糖}}=0.735$ , 遮阴度  $\eta^2_{\text{白及多糖}}=0.738$ ; 不同施肥量对白及多糖含量无显著性影响。

不同处理间白及块茎苹果酸酯含量主效应检验结果表明(表5),不同种植方式与遮阴度对苹果酸酯含量有极显著影响,其中种植方式  $\eta^2_{\text{苹果酸酯}}=0.774$ ,

遮阴度  $\eta^2_{\text{苹果酸酯}}=0.798$ ; 种植方式与施肥量存在交互作用  $\eta^2_{\text{苹果酸酯}}=0.302$ , ( $P>0.05$ )。施肥量对苹果酸酯含量无显著影响。

表3 块茎干质量主体间效应的检验

Table 3 Inspection of inter-subject effects of tuber dry weight

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	$\eta^2$
校正模型	9 599.984	15	639.999	6.327	0.000	0.748
截距	418 056.804	1	418 056.804	4 132.844	0.000	0.992
种植方式	7 846.039	3	2 615.346	25.855	0.000	0.708
肥料	233.105	3	77.702	0.768	0.520	0.067
遮阴度	1 192.286	3	397.429	3.929	0.017	0.269
种植方式×施肥量	328.555	6	54.759	0.541	0.773	0.092
误差	61.355	38	1.615			
总计	7 415.343	48				
校正的总计	220.916	47				

表4 白及多糖主体间效应的检验

Table 4 Inspection of inter-subject effects of *Bletilla striata* polysaccharides

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	$\eta^2$
校正模型	51.961	15	3.464	12.739	0.000	0.857
截距	70 408.422	1	70 408.422	258 933.823	0.000	1.000
种植方式	24.189	3	8.063	29.652	0.000	0.735
肥料	0.914	3	0.305	1.120	0.356	0.095
遮阴度	24.505	3	8.168	30.040	0.000	0.738
误差	8.701	32	0.272			
总计	70 469.084	48				
校正的总计	60.662	47				

表5 苹果酸酯主体间效应的检验

Table 5 Inspection of inter-subject effects of militarine.

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	$\eta^2$
校正模型	24.893	15	1.660	32.150	0.000	0.884
截距	2 470.517	1	2 470.52	61 512.234	0.000	0.999
种植方式	17.993	3	5.998	43.493	0.000	0.774
肥料	0.267	3	0.089	2.827	0.051	0.182
遮阴度	6.045	3	2.015	50.131	0.000	0.798
种植方式×施肥量	0.590	6	0.098	2.303	0.058	0.302
误差	1.322	38	0.035			
总计	2 151.394	48				
校正的总计	11.389	47				

### 3.3 适宜种植方式与栽培措施的筛选

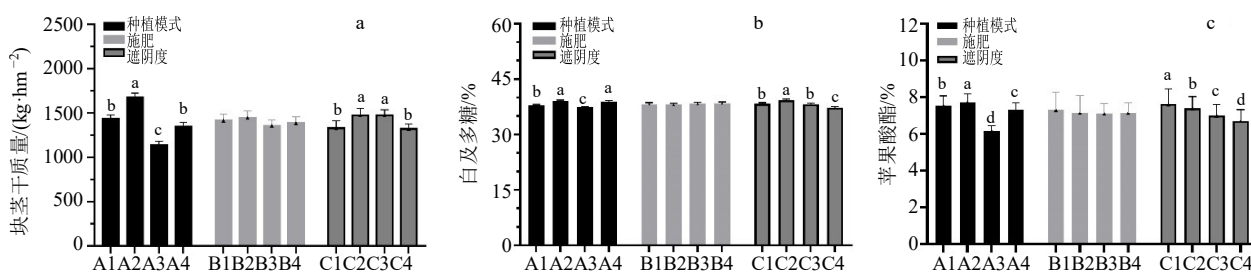
组间方差分析表明,种植方式与栽培措施对白及块茎产量、多糖和苹果酸酯含量的影响不尽相同。对白及块茎产量而言,不同种植方式间存在显著差异,产量从高到低为依次为覆膜栽培>露地栽培>

盆式栽培>床式栽培,见图2-a,其中露地栽培(A1)与盆式栽培(A4)2种方式间差异不显著;不同施肥量处理对白及块茎产量影响不显著;25%遮阴度、50%遮阴度处理下的白及块茎干质量显著高于0%遮阴度、75%遮阴度。白及多糖含量从高到低分别是覆膜

栽培>盆式栽培>露地栽培>床式栽培(图2-b),其中覆膜栽培(A2)与盆式栽培(A4)的白及多糖含量无显著差异;不同施肥量处理间的白及多糖含量无显著性差异;不同遮阴度处理后,白及多糖含量从大到小为25%遮阴度>0%遮阴度>50%遮阴度>75%遮阴度,其中0%遮阴度(C1)与50%遮阴度(C3)两者间无显著差异。苹果酸酯含量(图2-c)从大到小为覆膜栽培>露地栽培>盆式栽培>床式栽培;不同施肥量处理间白及块茎的苹果酸酯含量差异不显著;不同遮阴度处理后,苹果酸酯含量从大到小为0%遮阴度>25%遮阴度>50%遮阴度>75%遮阴度。

不同处理间白及块茎干质量、白及多糖与苹果

酸酯含量极差分析结果表明(表6),种植方式对白及产量与有效成分影响最大,分别为 $R_{\text{块茎干质量}}=534.65$ 、 $R_{\text{白及多糖}}=1.68$ 、 $R_{\text{苹果酸酯}}=1.57$ ,其中覆膜栽培(A2)下白及的块茎产量与有效成分均值最高;50%遮阴处理(C3)下白及产量均值最大, $R_{\text{块茎干质量}}=155.22$ ,25%遮阴处理(C2)下白及多糖含量均值最大, $R_{\text{白及多糖}}=2.02$ ,0%遮阴处理(C1)下苹果酸酯含量均值最大, $R_{\text{苹果酸酯}}=0.92$ 。综上所述,4种植植方式中,覆膜栽培为最优方式;从种植成本角度考虑,150 kg/hm<sup>2</sup>的施肥量最为合适;25%遮阴度对白及的产量与有效成分最为合适。



小写字母表示5%水平差异显著(P<0.05)

Lowercase letters indicate significant difference in 5% level (P<0.05)

图2 不同因素块茎干质量(a)、白及多糖(b)和苹果酸酯(c)含量组间水平差异对比

Fig. 2 Comparison of horizontal differences between Tuber dry mass (a), white and polysaccharides (b) and malate (c)

表6 白及的块茎干质量、白及多糖与苹果酸酯含量极差分析

Table 6 Range analysis of *B. striata*. of tuber dry weight, polysaccharides and militarine content

指标	块茎干质量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			白及多糖/%			苹果酸酯/%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K1	5 746.50	5 653.11	5 318.86	151.45	152.90	153.90	30.14	29.20	30.47
K2	6 699.73	5 780.41	5 892.85	156.17	152.47	157.23	30.89	28.59	29.56
K3	4 561.14	5 424.05	5 903.52	149.45	153.52	153.00	24.59	28.44	27.98
K4	5 390.50	5 540.30	5 282.64	155.72	153.90	149.16	29.17	28.55	26.78
K1'	1 436.62	1 413.28	1 329.71	37.86	38.23	38.47	7.54	7.30	7.62
K2'	1 674.93	1 445.10	1 473.21	39.04	38.12	39.31	7.72	7.15	7.39
K3'	1 140.29	1 356.01	1 475.88	37.36	38.38	38.25	6.15	7.11	6.99
K4'	1 347.63	1 385.07	1 320.66	38.93	38.48	37.29	7.29	7.14	6.70
R	534.65 (A2)	89.09 (B2)	155.22 (C3)	1.68 (A2)	0.36 (B4)	2.02 (C2)	1.57 (A2)	0.19 (B1)	0.92 (C1)

#### 4 讨论

适当的种植方式和合理的施肥既能够促进植株生长发育,提高中药材种植的产量,还能改善药材品质。白及喜阴,因此适当的遮阴也必不可少<sup>[21]</sup>。3因素4水平正交设计方法科学,操作简单,大量节省试验次数,并能够较好地控制试验误差。

本研究结果表明,不同种植方式与栽培措施处

理对白及生长发育产生极显著差异;种植方式、遮阴度对白及块茎干质量、多糖与苹果酸酯含量产生极显著影响。本实验中施肥量对白及块茎干质量、白及多糖与苹果酸酯含量影响不显著。当采用覆膜栽培(A2)时,白及块茎干质量[(1 784.51±100.01) kg/hm<sup>2</sup>]、多糖[(39.04±0.28)%]与苹果酸酯含量[(7.72±0.45)%]均达到最高;当采用25%遮阴处

理(C2)时,多糖含量[(39.31±0.28)%]最高,0%遮阴处理(C1)的苹果酸酯含量[(7.61±0.83)%]最高。胡佳栋<sup>[22]</sup>在党参栽培中使用平地覆白膜后显著提升了党参总多糖含量,魏立萍等<sup>[23]</sup>采用垄作覆黑膜的种植方式使当归增产率达31.22%,且浸出物、阿魏酸含量均能符合药典要求。本研究中覆膜栽培也是最优的种植方式,“川及1号”的产量与主要有效成份含量显著优于其他3种植方式,应是土壤覆膜后提高了早期土壤温度,增强了白及对土壤水分的利用效率,保持了土壤结构和微生态环境,提高了土壤供肥能力所致<sup>[24]</sup>。覆膜处理后,叶面积和须根鲜重极显著高于其它处理,为后期的产量和品质形成提供了良好的物质基础。

施肥量对根茎类中药材影响较大,在一定范围内根茎产量与施肥量呈正相关关系,如陈善波等<sup>[11]</sup>发现按0~450 kg/hm<sup>2</sup>的施肥范围内(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 15:15:15)白及块茎的产量呈上升趋势,450 kg/hm<sup>2</sup>时白及块茎的产量最大。但本实验中不同施肥量对白及产量及有效成分均无显著影响,主要原因为四川白及多于林下环境生长,其原生境土壤具有高含量有机质的特点,土壤肥沃<sup>[25-26]</sup>;在四川地区传统白及种植过程中,种植户于白及植株定植前,会采取大量施用有机肥的措施,如腐熟鸡粪、牛粪、腐殖质等,目的在于满足白及喜肥的特性<sup>[27]</sup>。本研究选用的白及品种“川及1号”,是基于四川地区高肥水白及种植背景下选育的特色白及品种。药用植物仿野生种植技术开发中,需充分考虑药用植物原生境特点与其品种特性<sup>[28-30]</sup>,因而在试验开展前期,针对“川及1号”的高肥水需求特性,结合白及植物的原生境特点,对试验地土壤进行改良。根据主效应检验结果可知本试验中种植方式与遮阴度对白及产量及有效成分含量影响起主要作用;张长煜<sup>[12]</sup>在研究不同栽培措施下白及生长和次生代谢物含量时发现,不同施肥量仅对白及多糖含量影响显著,对白及形态指标、产量、苹果酸酯含量影响均不显著。基于“川及1号”高肥水需求特性与高肥力土壤种植背景下,种植方式与遮阴度的主效应很大程度的抵消了施肥量对白及产量及有效成分含量的影响。

前人研究充分证实林下植物一定程度的遮阴能够提高其产量与品质<sup>[31-33]</sup>,本研究中,不同遮阴度间白及块茎产量也存在显著差异,其中25%、50%遮阴处理高于0%、75%处理;不同遮阴度对白及多

糖与苹果酸酯含量存在极显著影响,其中25%遮阴处理的白及多糖含量最高,0%遮阴处理的苹果酸酯含量最高;综合考虑可以25%遮阴处理作为白及规范化、规模化种植模式的参考栽培措施。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第十八卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 23.
- [2] 中国药典 [S]. 一部. 2015: 103.
- [3] 魏丹丹, 林海鸣, 徐芳, 等. 白及提取物对动物胃溃疡模型的药理研究 [J]. 中国中医药现代远程教育, 2011, 9(5): 180-182.
- [4] 汤逸飞, 阮川芬, 应晨, 等. 白及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.
- [5] 赵艳霞, 邓雁如, 张晓静, 等. 白及属药用植物化学成分及药理作用研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(8): 1137-1145.
- [6] 卢冬杰. 白及多糖护胃抗溃疡功能研究 [J]. 中国保健食品, 2013(3): 21-23.
- [7] 陈美君. 中药白及品质评价研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2017.
- [8] 孙爱静, 庞素秋, 王国权. 中药白及化学成分与药理活性研究进展 [J]. 环球中医药, 2016, 9(4): 507-511.
- [9] 周至明, 黄程生, 彭丽丽, 等. 白及人工种植初步研究 [J]. 中药材, 2006, 29(1): 7-8.
- [10] 张满常, 段修安, 王仕玉, 等. 白及中药材栽培技术研究进展 [J]. 云南农业科技, 2015(5): 61-63.
- [11] 陈善波, 刘娜, 武华卫, 等. 不同施肥对白及林下栽培生长量的影响 [J]. 四川林业科技, 2017, 38(6): 20-26.
- [12] 张长煜. 栽培措施对白及生长和次生代谢物含量的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [13] Zhang M, Shao Q S, Xu E T, et al. *Bletilla striata*: A review of seedling propagation and cultivation modes [J]. *Physiol Mol Biol Plants*, 2019, 25(3): 601-609.
- [14] 柯健. 白及不同种植模式对其产量的影响 [J]. 农业开发与装备, 2019(8): 209.
- [15] 杨根林, 高云, 谭凤琼, 等. 不同栽培方式对白及分蘖及产量的影响 [J]. 北方农业学报, 2019, 47(5): 16-19.
- [16] 习伟. 林下紫花白及仿野生种植技术与应用前景浅析 [J]. 南方农业, 2020, 14(2): 25-26.
- [17] 王爱民, 王永林, 郑林, 等. 白及药材中多糖的含量测定 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(22): 2963-2965.
- [18] 中国药典 [S]. 四部. 2019: 156.
- [19] 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(2): 16-19.

- [20] 何恩铭, 田淼, 沈瑞池, 等. HPLC 法测定小叶山葡萄叶中白藜芦醇含量 [J]. 亚热带植物科学, 2019, 48(4): 334-338.
- [21] 杨平飞, 孔娇, 谢秀梅, 等. 不同遮阴处理对白及生长的影响 [J]. 农技服务, 2019, 36(3): 50.
- [22] 胡佳栋. 栽培措施对党参生长和有效成分含量影响研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [23] 魏立萍, 王富胜. 栽培方式对当归生长发育及产量的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2020(Z1): 10-15.
- [24] 康树立, 詹海燕, 金焱, 等. 覆膜栽培对抗氧化花生的影响研究 [J]. 杂粮作物, 2006, 26(3): 229-231.
- [25] 陈锦, 杨侃侃, 王志伟, 等. 利用 RAPD、ISSR 标记分析白芨种质资源遗传多样性的研究 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(12): 137-142.
- [26] 朱英, 刘永翔, 黄永会, 等. 白芨属种质资源的 SRAP 标记分析 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40(9): 10-13.
- [27] 熊丙全, 廖相建, 张勇, 等. 四川地区白芨优质高产栽培技术 [J]. 现代农业科技, 2017(21): 90-91.
- [28] Yuan Y D, Tang X G, Jia Z H, *et al.* The effects of ecological factors on the main medicinal components of *Dendrobium officinale* under different cultivation modes [J]. *Forests*, 2020, 11(1): 94.
- [29] 陶子曦. 林下仿野生栽培金线莲品质动态变化研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2019.
- [30] 陈绍通. 霍山石斛内生真菌的多样性、差异性及其抑菌活性 [D]. 合肥: 安徽中医药大学, 2019.
- [31] 罗双林. 不同郁闭度和坡位对毛竹林下套种白芨的影响 [J]. 安徽林业科技, 2016, 42(3): 14-15.
- [32] 龚舟, 罗先权, 彭静, 等. 不同林下三七栽培技术研究 [J]. *Agricult Sci Technol*, 2016, 17(12): 2818-2822.
- [33] 杨洪斌. 仿野生林下种植铁皮石斛技术 [J]. 云南林业, 2016, 37(5): 64-65.

[责任编辑 时圣明]