

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.03.004

植物免疫诱抗剂“保康灵1号” 对白术品质及根腐病抗病性的影响

张敏慧¹, 范慧艳², 王霏璐², 阮松林³, 开国银^{1,2}

1. 福建中医药大学药学院, 福州 350122;

2. 浙江中医药大学药学院, 杭州 310053;

3. 杭州市农业科学研究院, 杭州 310024

摘要: 为探究壳寡糖型植物免疫诱抗剂“保康灵1号”(BKL1)对白术品质的影响,通过BKL1单剂与“阿米西达”混配叶面喷施处理白术,测定其农艺性状、田间发病率、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性及品质,并采用隶属函数法对数据进行综合评价。结果显示,BKL1能够促进白术的生长,其中茎粗、分枝数和地下部分折干率均高于空白对照;BKL1还能增强PAL活性,降低根腐病发病率,并提高白术的品质,如醇溶性浸出物、多糖和苍术酮水平均明显高于空白对照。BKL1与“阿米西达”混喷处理效果优于单喷处理,其中BKL1 500倍液和“阿米西达”1 500倍液混喷效果最佳。表明植物免疫诱抗剂BKL1可促进白术生长,增强白术抗根腐病能力,提高白术品质,为防治白术病害提供了参考。

关键词: 植物免疫诱抗剂; 白术; 隶属函数法;

“保康灵1号”; 品质

中图分类号: S432.2⁺6

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)03-0034-09

Effects of Plant Immune Inducers ‘Baokangling No.1’ on Quality and Root Rot Resistance of *Atractylodes macrocephala*

ZHANG Minhui¹, FAN Huiyan², WANG Peilu²,
RUAN Songlin³, KAI Guoying^{1,2}

收稿日期: 2024-04-09

基金项目: 浙江中医药大学自然科学青年探索项目(2023JKZKTS19); 浙江省基础公益研究计划项目(LTGN24C140003); 国家自然科学基金资助项目(82003890)。

作者简介: 张敏慧, 硕士研究生, 主要从事药用植物保护研究。

通信作者: 开国银, 博士, 教授。

1. College of Pharmacy, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, China;

2. College of Pharmacy, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China;

3. Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310024, China

Abstract: To investigate the effects of chitosan oligosaccharide-based plant immune inducers, ‘Baokangling No.1’ (BKL1), on the cultivation quality of *Atractylodes macrocephala*, and to provide reference for the control of diseases and pests of *A. macrocephala*. Treatments were applied by spraying BKL1, and three concentration levels of mixture of BKL1 and ‘Azoxystrobin’. The agronomic characters, field disease incidence, PAL activity and quality of *A. macrocephala* were measured, and comprehensive evaluation was conducted by using a membership function method. The results showed that BKL1 could promote the growth of *A. macrocephala*. The stem diameter, the number of branches and the drying rate of underground parts, as well as the quality parameters such as alcohol-soluble extract, polysaccharide and atractylosin were higher than those of the control group. The effect of combined BKL1 and ‘Azoxystrobin’ spraying was better than that of single agent spraying, among which, the 500 times dilution of BKL1 with 1 500 times dilution of ‘Azoxystrobin’ mixture spraying was the most effective. The plant immune inducer BKL1 can facilitate the growth of *A. macrocephala*, bolster its resistance to root rot, and improve the quality of the herb. This study offers valuable insights for the prevention and treatment of diseases in *A. macrocephala*.

Key words: plant immune inducer; *Atractylodes macrocephala*; BKL1; membership function method; quality

植物具有对病原微生物的攻击作出反应的先天免疫系统或防御机制^[1],当受到外来物质刺激时,植物对病原菌侵染具有抵抗性的特征,称作植物的诱导抗病性.能够刺激植物产生诱导抗病性反应的物质则称为植物免疫诱抗剂,即植物疫苗^[2].植物免疫诱抗剂是一类免疫活性化合物,可诱导植物获得抗性,通过调节植物的新陈代谢,激活植物的免疫系统和生长系统,从而增强植物抗病抗逆能力,并促进植物根茎叶生长和叶绿素含量的提高,提高作物产量^[3].植物免疫诱抗剂主要包括植物免疫诱导蛋白、寡糖和微生物诱导剂3类.植物免疫诱抗剂的开发和应用对于保持植物健康生长、减少病害的发生、减少化学农药的使用具有重要意义^[4].

壳寡糖是一类从海洋甲壳生物外壳提取酶解而来的安全、无毒、无残留的寡糖类免疫诱抗剂,可激活植物防御系统产生与防御有关的酶、植物抗毒素和蛋白质,其诱导的植物抗性广谱,持续时间长,长期或多次诱导不会使植物产生特异性的抗药性^[5].研究表明,经壳寡糖处理后,羽衣甘蓝芽苗的产量得到提高^[6],玉米盐胁迫下植株生长发育遭受的损害有效缓解^[7],同时,可抑制辣椒疫霉的营养生长^[8].杭州市农业科学研究院研制的3%壳寡糖水剂型高效广谱免疫诱抗剂“保康灵1号”(BKL1)对水稻稻瘟病和白叶枯病、葡萄霜霉病和玉米锈病、白术灰霉病、黑斑病^[9-11]等均有较好的防效,且能够增强植物的抗病性,并促进植株生长.免疫诱抗剂也可与其他化学农药混配,比如壳寡糖与化学农药混配可以在减少化学农药用量的同时,增加对玉米叶斑病、冰葡萄霜霉病和猕猴桃叶斑病的防治效果^[12-14],提高作物的品质和产量.

白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz)为菊科苍术属多年生草本植物,以干燥根茎入药,具有健脾益气、燥湿利水、止汗安胎等功效^[15],是一种重要的大宗中药材,为“浙八味”传统中药材之一.浙江省白术栽培历史悠久,常年种植面积达几百公顷,生产的白术以其有效成分含量高、质量好而闻名.栽培过程中,白术易患立枯病、根腐病、白绢病、斑枯病、病毒病等病害,

严重影响药材的产量和质量。目前,对白术病害主要利用化学防治的方法,这种方法不仅会引发白术农残及环境污染等问题,还有可能增强有害生物的抗药性,从而降低防治效果。本试验将植物免疫诱抗剂应用于白术的栽培,以根腐病为靶标,探讨壳寡糖免疫诱抗剂对白术农艺性状、品质及抗性的影响,以期为防治白术病害、提高白术品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

白术根茎购自磐安顺利中药材有限公司,经浙江中医药大学张水利教授鉴定是菊科植物白术的种根茎。供试农药:3%壳寡糖水剂(“保康灵1号”,BKL1)由浙江绿神天敌生物技术有限公司生产,25%嘧菌酯悬浮液(“阿米西达”)由先正达生物科技(中国)有限公司生产。

1.2 试验地概况

试验地位于浙江省杭州市富阳区泗洲村,海拔21 m,30°6′2″N,119°54′54″E,该区属亚热带季风气候,冬冷夏热,四季分明,降水充沛,光照充足,无霜期为230 d左右。年均降水量为1 450 mm左右,降水集中在4—9月,年均气温为16.27℃。试验地土壤类型为黄壤,肥力中等。

1.3 试验方法

试验设置10个组,3次重复。1组为空白对照(CK);2~7组单独喷施“保康灵1号”(3%壳寡糖水剂)100倍、200倍、300倍、400倍、500倍、600倍稀释液;8~10组混合喷施“保康灵1号”500倍稀释液和“阿米西达”1 000倍、1 500倍、2 000倍稀释液。小区面积为10 m²,行株距为25 cm×25 cm。喷施“保康灵1号”处理自6月15日开始,每隔半月喷施1次,共喷施4次,后期田间管理保持一致。

1.4 样品采集

白术样品于2022年10月31日收获,根据五点法每个小区随机取样10株,整株挖取放入相应分组的样品袋中带回实验室,洗净擦干,再进行测定。

1.5 测定项目与方法

1.5.1 SPAD值

BKL1处理结束后30 d,各组选取避开边行的健康白术10株,采用日本柯尼卡美能达公司生产的SPAD-502型叶绿素含量测定仪沿主茎自上而下测其植株上、中和下层完全展开叶SPAD值,同组内测定结果取平均值。

1.5.2 PAL活性测定

使用苯丙氨酸解氨酶(PAL)测定试剂盒测定白术叶片的PAL活性,试剂盒购自南京建成生物工程研究所,按照说明书进行测定。PAL活性以1 g鲜样在反应体系中1 min使290 nm吸光度变化0.1,OD₂₉₀值为1个酶活性单位。PAL参与植物抗病的机制主要是通过参与木质素和植保素的合成,PAL活性与植物抗病能力密切相关,因此,可以通过测定PAL的活性体现白术抗根腐病的能力。

1.5.3 收获期白术农艺性状评价

测定收获期每株白术的株高、茎粗、分枝数、叶片数、地上部分干质量、地上部分折干率、地下部分干质量、地下部分折干率、SPAD值。

1.5.4 白术品质测定

水分、总灰分、浸出物测定参照2020年版中国药典^[15]方法,多糖测定参照2020年版中国

药典^[15]黄精多糖含量的测定方法并略作修改(等比例缩小对照品、样品溶液和显色剂剂量),白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮测定参照熊鹏飞^[16]研究中的方法,并略作修改.白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮的测定过程如下.

1.5.4.1 材料与仪器

Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司),白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III(质量分数 $\geq 98\%$,生产批号分别为 8614, 4882, 9514, 上海诗丹德标准技术服务有限公司)、苍术酮对照品(质量分数 $\geq 98\%$,生产批号为 DSTDC010703, 成都德思特生物技术有限公司),甲醇(分析纯, 广东光华科技股份有限公司),乙腈(色谱纯, 美国天地试剂公司),水为超纯水.

1.5.4.2 色谱条件及系统适应性

色谱柱: Agilent C18 柱(4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μ m); 流动相: 乙腈(B)-水(D)梯度洗脱(0~14 min, 60%B; 15~16 min, 76%B; 17~30 min, 100%B; 30.5 min, 60%B; 31~35 min, 60%B); 柱温: 30 $^{\circ}$ C; 流速: 0.8 mL/min; 进样量 5 μ L; 检测波长: 白术内酯 I 为 276 nm, 白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮为 220 nm.

1.5.4.3 对照品制备

分别精密称取 20 mg 白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮对照品,加甲醇溶解,定容至 20 mL,得 1 mg/mL 的储备液.

1.5.4.4 样品制备

精密称取白术样品粉末(过 3 号筛)约 2 g,置于离心管中,加 20 mL 甲醇,称取质量,静置 30 min,超声 30 min,冷却至室温后,加甲醇补足损失的质量,在 6 000 r/min 的转速下离心 15 min,过滤,定容至 25 mL,在进样前过 0.22 μ m 微孔滤膜.

1.5.4.5 线性关系考察

精密移取白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III 对照品储备液各 1 mL 混合,加甲醇定容制成浓度分别为 100 μ g/mL 的对照品溶液和直接将苍术酮对照品 1 mg/mL 储备液作为对照品溶液.各组样品按既定方法在色谱系统中分别进样 1, 2, 3, 4, 5 μ L 测定,以色谱峰面积为纵坐标,进样量为横坐标,绘制标准曲线.白术内酯 I: $y = 623.39x - 21.84 (R^2 = 1)$; 白术内酯 II: $y = 457.29x - 13.754 (R^2 = 0.999\ 2)$; 白术内酯 III: $y = 321.16x - 23.527 (R^2 = 0.999\ 2)$; 苍术酮: $y = 1\ 910x - 39.842 (R^2 = 0.999\ 7)$.

1.6 数据处理与统计学分析

使用 Excel 进行基础数据输入与前期处理, SPSS 25 软件进行单因素 ANOVA 检验,显著性水平设定为 $p < 0.05$, Origin Pro 2022 软件作图.

2 结果与分析

2.1 BKL1 处理对收获期白术农艺性状的影响

由表 1 可知,不同浓度 BKL1 处理白术各项农艺指标与空白对照比较,白术茎粗、分枝数、地上部分干质量、地上部分折干率、地下部分干质量及地下部分折干率存在明显差异,且差异具有统计学意义;其中,500 倍液处理除 SPAD 值外,其余指标均明显优于空白对照,差异均具有统计学意义,可见 500 倍液 BKL1 处理效果最佳,能够促进白术生长,增加干物质积累量.

表 1 BKL1 处理对收获期白术农艺性状的影响

处理方法	株高/ cm	茎粗/ mm	分枝数/ 枝	叶片数/ 片	地上部分 干质量/g	地上部分 折干率/%	地下部分 干质量/g	地下部分 折干率/%	SPAD 值
CK	47.88±0.44c	6.45±0.47b	9.33±1.53d	63.67±7.02b	26.42±1.33f	38.72±0.32d	13.41±1.24d	49.50±0.79d	48.37±3.40ab
100 倍液	50.68±0.58bc	7.79±0.48a	11.33±1.53cd	74.67±11.59ab	32.53±1.12e	41.52±0.74bc	15.62±2.21cd	51.82±0.30c	49.22±2.05ab
200 倍液	51.74±1.58ac	7.83±0.45a	12.00±1.00c	72.67±6.03ab	32.97±1.77de	40.76±0.39c	16.74±1.11bc	52.39±0.41bc	48.82±1.27ab
300 倍液	54.95±3.88ab	8.03±0.25a	15.00±1.00b	74.00±5.57ab	36.14±2.14cd	42.20±0.13b	19.01±1.75ab	54.69±0.43a	47.79±1.18ab
400 倍液	53.56±3.02ac	8.02±0.11a	15.00±1.00b	76.33±5.51ab	36.50±2.44c	41.67±0.40b	20.07±0.96a	55.08±0.04a	49.95±0.96ab
500 倍液	57.25±2.91a	8.10±0.14a	19.33±0.58a	86.33±3.51a	44.67±1.20a	43.63±0.30a	19.50±0.69ab	54.68±0.30a	49.59±3.28ab
600 倍液	56.78±4.52a	8.04±0.13a	15.67±0.58b	78.33±6.03a	40.16±1.61b	41.49±0.27bc	17.55±1.61ac	52.86±0.23b	51.23±1.41a

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.2 BKL1 处理对白术品质的影响

水分、总灰分、醇溶性浸出物是检验药材品质的重要指标,由表 2 可知,各处理白术水分、总灰分、醇溶性浸出物质量分数均达到中国药典(2020 年版)标准.多糖、苍术酮、白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III 是白术的主要药用成分.白术多糖质量分数各处理均明显高于空白对照,多糖质量分数随着 BKL1 稀释倍数的增加呈先升后降的趋势,在 400 倍液达到最大值,相对于对照组提高了 1.20%.苍术酮质量分数各处理均明显高于空白对照,其中 500 倍液和 600 倍液处理含量最高,相对于空白对照提高了 1.06 mg/g, 1.05 mg/g.400 倍液处理的白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III 质量分数最高,相对于空白对照提高了 0.04 mg/g, 0.01 mg/g, 0.02 mg/g.

由结果可见,BKL1 可以提高白术的品质,并且增加醇溶性浸出物,提高多糖质量分数,对于水分和总灰分的影响较小.500 倍液和 600 倍液可以明显提高苍术酮质量分数,400 倍液可以明显提高白术内酯类质量分数.

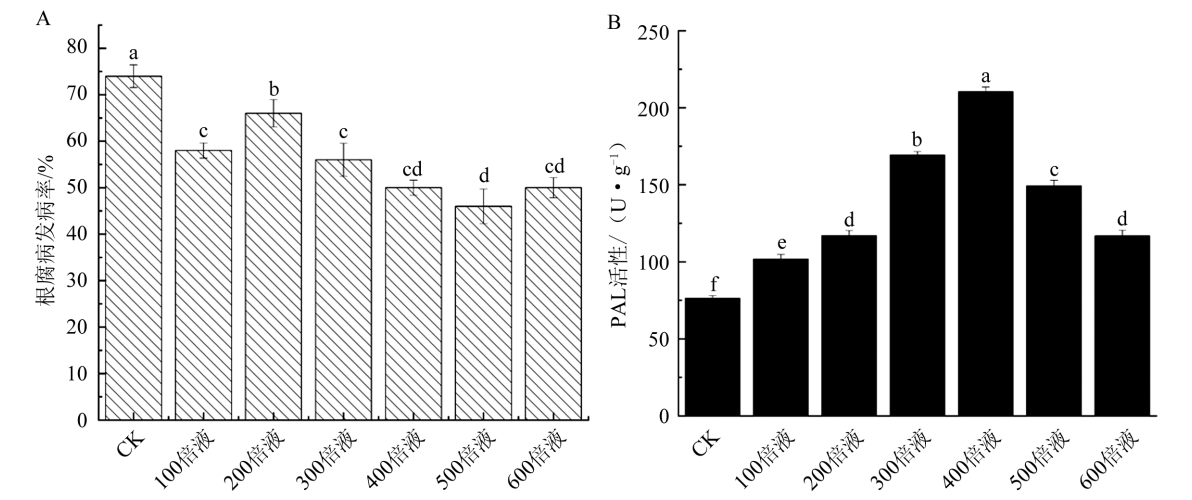
表 2 BKL1 处理对白术品质的影响

处理方法	水分/ %	总灰分/ %	醇溶性浸 出物/%	多糖/ %	苍术酮/ (mg · g ⁻¹)	白术内酯 I / (mg · g ⁻¹)	白术内酯 II / (mg · g ⁻¹)	白术内酯 III / (mg · g ⁻¹)
CK	7.23d	3.29e	37.93c	3.250 3d	5.059 3e	0.107 0d	0.034 3b	0.071 4c
100 倍液	7.63a	3.37d	38.10c	3.879 4c	5.829 9b	0.120 3c	0.028 5d	0.064 1f
200 倍液	7.58ab	3.32de	40.25b	4.260 2b	5.876 8b	0.126 8bc	0.029 1d	0.064 1f
300 倍液	7.50bc	4.08b	45.06a	4.240 3b	5.345 6d	0.132 3b	0.035 1b	0.089 3b
400 倍液	7.14d	4.05b	44.26a	4.448 9a	5.436 4c	0.149 9a	0.040 7a	0.096 2a
500 倍液	7.15d	4.29a	44.63a	4.147 9b	6.117 1a	0.129 9b	0.031 8c	0.068 0d
600 倍液	7.41c	3.84c	44.10a	3.848 2c	6.105 5a	0.121 0c	0.029 0d	0.066 2e

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.3 BKL1 处理对白术根腐病发病率和 PAL 活性的影响

BKL1 处理结束后 30 d,统计试验区因根腐病死亡的白术植株数量,每个试验区按 50 株计算发病率.由图 1 可知,各处理根腐病发病率均明显低于空白对照,其中 400 倍液、500 倍液处理发病率最低,相对于对照组分别降低了 24.00%和 28.00%.各处理 PAL 活性均明显高于空白对照,PAL 活性随着 BKL1 稀释倍数的增加呈先升后降的趋势,在 400 倍液达到最大值,相对于对照组提高了 133.96 U/g.可见 BKL1 可以明显增强白术的抗根腐病能力,400 倍液、500 倍液效果最佳.



小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$).
图 1 BKL1 处理对于根腐病发病率和白术 PAL 活性的影响

2.4 BKL1 处理对白术各项指标影响的隶属函数分析

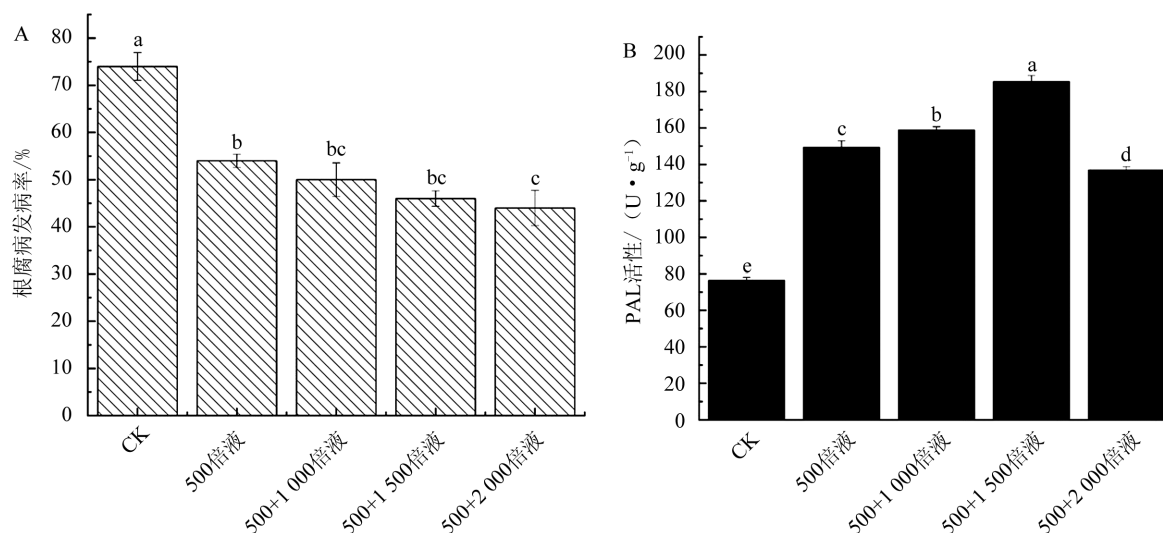
BKL1 对白术品质、生长指标和抗病害指标的影响十分复杂,测定单个指标很难评价 BKL1 对白术品质的影响.隶属函数为定性指标定量化提供了有效的方法,隶属函数模糊综合评判方法很好地解决了判断的模糊性问题,利用隶属函数法,对各处理白术的农艺性状、品质指标和抗病害能力等进行综合评价,隶属函数均值大,表明处理的植株长势好、品质佳、抗病害能力强^[17].由表 3 可见,各处理的隶属函数均值均高于空白对照,说明 BKL1 能够促进白术生长,增强白术抗病害能力及提高白术品质,其中 400 倍液、500 倍液 BKL1 稀释液效果最佳.

表 3 BKL1 处理对白术各项指标影响的隶属函数值

指标	CK	100 倍液	200 倍液	300 倍液	400 倍液	500 倍液	600 倍液	均值
株高	0.00	0.30	0.41	0.75	0.61	1.00	0.95	0.574 7
茎粗	0.00	0.81	0.83	0.95	0.95	1.00	0.96	0.787 0
分枝数	0.00	0.20	0.27	0.57	0.57	1.00	0.63	0.461 9
叶片数	0.00	0.49	0.40	0.46	0.56	1.00	0.65	0.506 3
地上部分干质量	0.00	0.33	0.36	0.53	0.55	1.00	0.75	0.504 5
地上部分折干率	0.00	0.57	0.42	0.71	0.60	1.00	0.57	0.551 4
地下部分干质量	0.00	0.33	0.50	0.84	1.00	0.91	0.62	0.601 1
地下部分折干率	0.00	0.42	0.52	0.93	1.00	0.93	0.60	0.628 1
SPAD 值	0.00	0.33	0.56	0.16	1.00	0.68	0.72	0.493 4
水分	0.18	1.00	0.90	0.73	0.00	0.03	0.56	0.484 9
总灰分	0.00	0.08	0.03	0.80	0.76	1.00	0.55	0.459 6
醇溶性浸出物	0.00	0.02	0.33	1.00	0.89	0.94	0.87	0.577 5
多糖	0.00	0.52	0.84	0.83	1.00	0.75	0.50	0.634 4
苍术酮	0.00	0.73	0.77	0.27	0.36	1.00	0.99	0.588 2
白术内酯 I	0.00	0.31	0.46	0.59	1.00	0.53	0.33	0.460 6
白术内酯 II	0.48	0.00	0.05	0.54	1.00	0.27	0.04	0.340 1
白术内酯 III	0.23	0.00	0.00	0.78	1.00	0.12	0.06	0.314 1
PAL 活性	0.00	0.18	0.29	0.70	1.00	0.56	0.30	0.433 3
根腐病发病率	0.00	0.57	0.29	0.64	0.86	1.00	0.86	0.602 0
均值	0.046 3	0.378 6	0.433 1	0.673 0	0.773 4	0.775 3	0.605 8	0.526 5

2.5 BKL1 和“阿米西达”混喷对白术 PAL 活性和根腐病发病率的影响

由图 2 可知,单喷处理与空白对照比较,BKL1 和“阿米西达”混喷处理白术根腐病发病率更低,PAL 活性更高,差异均具有统计学意义.根腐病发病率随着“阿米西达”稀释倍数的增加而降低,PAL 活性随着“阿米西达”稀释倍数的增加呈先升后降的趋势,在和“阿米西达”1 500 倍液混喷时达到最大值,相对于空白对照提高了 108.98 U/g.说明混喷处理可以显著增强白术的抗根腐病的能力且效果优于 BKL1 单喷处理,因此,BKL1 与“阿米西达”1 500 倍稀释液混喷效果最佳.



“500 倍液+1 000 倍液”为 BKL1 500 倍液和“阿米西达”1 000 倍液混喷,“500 倍液+1 500 倍液”为 BKL1 500 倍液和“阿米西达”1 500 倍液混喷,“500 倍液+2 000 倍液”为 BKL1 500 倍液和“阿米西达”2 000 倍液混喷;小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

图 2 BKL1 和“阿米西达”混喷对白术根腐病发病率和白术 PAL 活性的影响

2.6 BKL1 和“阿米西达”混喷对白术品质的影响

由表 4 可知,BKL1 和“阿米西达”混喷处理的白术多糖、苍术酮、白术内酯Ⅱ和白术内酯Ⅲ的质量分数与单喷处理和空白对照比较,差异均具有统计学意义;其中 BKL1 500 倍液+“阿西米达”1 500 倍液多糖和苍术酮的质量分数最高,相对于空白对照提高了 1.13%和 5.26 mg/g.可见 BKL1 和“阿米西达”混喷可以提高多糖、苍术酮、白术内酯Ⅱ和白术内酯Ⅲ的质量分数,且效果优于 BKL1 单喷处理,其中 BKL1 500 倍液和“阿西米达”1 500 倍液混喷效果最佳.

表 4 BKL1 与“阿米西达”混喷对白术品质的影响

处理方法	水分/ %	总灰分/ %	醇溶性浸 出物/%	多糖/ %	苍术酮/ (mg·g ⁻¹)	白术内酯Ⅰ/ (mg·g ⁻¹)	白术内酯Ⅱ/ (mg·g ⁻¹)	白术内酯Ⅲ/ (mg·g ⁻¹)
CK	7.30c	3.26b	37.29bc	3.240 7d	5.052 4d	0.105 3bc	0.032 8c	0.071 2b
500 倍液	7.23d	4.02a	40.51a	3.339 6d	6.135 3c	0.130 0a	0.021 8d	0.061 3c
500 倍液+1 000 倍液	8.25b	3.32b	38.13b	4.091 3b	10.030 3b	0.106 9bc	0.041 5b	0.107 5a
500 倍液+1 500 倍液	8.28b	4.04a	37.95b	4.369 5a	10.316 5a	0.112 8b	0.040 3b	0.073 9b
500 倍液+2 000 倍液	8.59a	3.91a	36.71c	3.501 9c	10.044 9b	0.101 5c	0.049 4a	0.107 0a

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$).

3 讨论与结论

近年来,随着白术种植规模扩大,浙江省白术生产过程中病虫害发生亦逐年加重,种植户为保产增收而滥用农药,造成农药残留、污染环境等问题.常规化学杀菌剂直接杀灭病原菌,而植物免疫诱导剂则激活或引发植物免疫.目前,植物免疫调节机制的研究取得了长足进展,以植物免疫原理为基础的植物免疫诱导剂的开发和应用是植物保护研究的一个新领域^[18].植物免疫诱抗剂通过引起植物羟脯氨酸糖蛋白的变化,致使木质素在细胞壁沉积,增强细胞壁抵御病原菌的能力;通过触发植物病原相关分子模式激发的免疫反应(Pathogen-associated Molecular Pattern-triggered Immunity, PTI)和效应蛋白激发的免疫反应(Effector-triggered Immunity, ETI),增强植物对病原菌的抵抗力;或通过使内源水杨酸(Salicylic Acid, SA)积累,诱导植物产生过敏反应,使植物细胞死亡,以抵抗病原菌的进一步定殖^[19-23].以植物免疫诱导剂为基础的免疫诱导技术,可以启动植物的防御机制,大大减少植物病害的发生或降低其严重程度.减少农用化学品的使用是减少环境污染、促进农业安全的有效途径^[23-24].植物免疫诱抗剂的鉴定、研发和应用对于病虫害绿色防控和减少化学农药使用量有着积极的意义,符合国家发展的战略需求,具有重要的学术价值和应用价值^[25].

本次试验表明,3%壳寡糖水剂型的高效广谱免疫诱抗剂 BKL1 在激活白术植物体内分子免疫系统、提高植物免疫力的同时,还激发植物体内的一系列代谢调控系统,可促进叶片生长,增强光合作用,从而提高白术抗病害能力和品质.植物免疫诱导抗性评价是一个多指标评价技术体系,SPAD 值、白术内酯类质量分数、PAL 活性等多项指标表明 BKL1 的浓度不是越高越好,浓度太低或太高都会导致效果不佳,且会导致资源浪费.白术品质与生长指标、抗病害指标间的联系十分复杂,要衡量不同浓度的植物免疫诱抗剂 BKL1 对于白术综合品质的效果,需要利用隶属函数来进行综合评价.结果表明,单喷处理中 BKL1 400 倍液、500 倍液效果最佳,并且各混喷处理效果均优于单喷处理,其中 BKL1 500 倍液与“阿米西达”1 500 倍混喷效果最佳.

植物免疫诱抗剂 BKL1 以及其与“阿米西达”混喷处理均可促进白术生长,增强白术的抗根腐病能力,并提高其醇溶性浸出物、多糖、苍术酮等的质量分数.通过隶属函数法综合评价,单喷处理中 400 倍液、500 倍液 BKL1 稀释液效果最佳,混喷处理效果优于单喷处理,混喷处理中 BKL1 500 倍液与“阿米西达”1 500 倍稀释液混喷效果最佳.

参考文献:

- [1] GUARNIZO N, OLIVEROS D, MURILLO-ARANGO W, et al. Oligosaccharides: Defense Inducers, Their Recognition in Plants, Commercial Uses and Perspectives[J]. *Molecules*, 2020, 25(24): 5972.
- [2] 安康, 韩兴, 刘海涛, 等. 不同农用抗生素诱导烟草灰霉病抗性的研究[J]. *农药*, 2021, 60(11): 825-828.
- [3] QIUD W, DONGY F, ZHANGY, et al. Plant Immunity Inducer Development and Application[J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions: MPMI*, 2017, 30(5): 355-360.
- [4] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(1): 39-45.
- [5] MALUIN F N, HUSSEIN M Z. Chitosan-Based Agronanochemicals as a Sustainable Alternative in Crop Protection[J]. *Molecules*, 2020, 25(7): 1611.
- [6] 沈巧玲, 刘光敏, 王亚钦, 等. 壳寡糖对羽衣甘蓝芽苗硫代葡萄糖苷及抗氧化活性的影响[J]. *华北农学报*, 2024, 39(1): 104-112.

- [7] 林依彤, 韩韦, 黄志锋, 等. 壳寡糖接枝玉米醇溶蛋白/芸苔素内酯纳米粒子的制备及抗盐胁迫性能[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2024, 37(1): 16-25, 31.
- [8] 翟新羽, 黄太萍, 冯国荣, 等. 壳寡糖抑制辣椒疫霉的生长发育和侵染[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(15): 106-111.
- [9] 肖文斐, 忻雅, 裘劫人, 等. 免疫诱抗剂保康灵 1 号诱导水稻、葡萄抗病性效果评价[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 1965-1967.
- [10] 胡伟民, 肖文斐, 忻雅, 等. 免疫诱抗剂保康灵 1 号对鲜食糯玉米产量和抗病性的影响[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(4): 604-606.
- [11] 陈敏洁, 杨超超, 汪晓菲, 等. 免疫诱抗剂对浙贝母生长与抗病的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(12): 2865-2868.
- [12] 李聪聪, 王亚娇, 栗秋生, 等. 防治玉米叶斑病高效药剂筛选及药剂减施增效技术[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 342-348.
- [13] 蔡明. 寡聚酸碘和氨基寡糖素对冰葡萄霜霉病的田间防治效果[J]. 农药, 2020, 59(7): 525-527.
- [14] WANG Q, LI H, LEI Y, et al. Chitosan as an Adjuvant to Improve Isopyrazam Azoxystrobin against Leaf Spot Disease of Kiwifruit and Enhance Its Photosynthesis, Quality, and Amino Acids[J]. Agriculture, 2022, 12(3): 373.
- [15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典——一部: 2020 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [16] 熊鹏飞. 不同连作年限白术的化感作用及其对生长与产质量的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- [17] 周芳, 曹国璠, 李金玲, 等. 不同有机肥种类及用量对连作白术产量与品质的影响[J]. 中药材, 2020, 43(10): 2350-2356.
- [18] YANGB, YANGS, ZHENGW Y, et al. Plant Immunity Inducers: From Discovery to Agricultural Application [J]. Stress Biology, 2022, 2(1): 5.
- [19] 刘艳潇, 祝一鸣, 周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 1020-1026.
- [20] DINGL N, LIY T, WUY ZH, et al. Plant Disease Resistance-Related Signaling Pathways: Recent Progress and Future Prospects[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(24): 16200.
- [21] LIL, ZHUX M, ZHANGY R, et al. Research on the Molecular Interaction Mechanism between Plants and Pathogenic Fungi[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(9): 4658.
- [22] ZHUF, CAOM Y, ZHANGQ P, et al. Join the Green Team: Inducers of Plant Immunity in the Plant Disease Sustainable Control Toolbox[J]. Journal of Advanced Research, 2024, 57: 15-42.
- [23] MURAKAMI T, KATSURAGI Y, HIRAI H, et al. Distribution of Flagellin CD2-1, Flg22, and FlgII-28 Recognition Systems in Plant Species and Regulation of Plant Immune Responses through these Recognition Systems[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2022, 86(4): 490-501.
- [24] ZHUF, CAOM Y, ZHANGQ P, et al. Join the Green Team: Inducers of Plant Immunity in the Plant Disease Sustainable Control Toolbox[J]. Journal of Advanced Research, 2024, 57: 15-42.
- [25] 陈士林, 董林林, 郭巧生, 等. 中药材无公害精细栽培体系研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(8): 1517-1528.

责任编辑 苏荣艳