

王红佳,薛兴华,宋拉拉,等.白术水浸液对种子萌发及幼苗生长的自毒效应[J].江苏农业科学,2018,46(8):158-161.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.08.038

白术水浸液对种子萌发及幼苗生长的自毒效应

王红佳¹,薛兴华¹,宋拉拉²,李忠³,龚宁¹

(1. 贵州师范大学生命科学学院,贵州贵阳 550001; 2. 贵州省农业科学院辣椒研究所,贵州贵阳 550006; 3. 贵州大学农学院,贵州贵阳 550025)

摘要:采用生物测定方法研究白术不同浓度茎叶、根系水浸液对种子萌发和幼苗生长的自毒效应,并用隶属函数综合分析。结果表明:白术长势优劣的综合受害指标 D 值排序为 2 mg/mL 根系水浸液 > 蒸馏水(CK) > 12 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 茎叶水浸液 > 2 mg/mL 茎叶水浸液 > 12 mg/mL 茎叶水浸液。可见,白术茎叶自毒效应大于根系,根系水浸液有高抑制低促进效应。

关键词:白术;水浸液;种子萌发;幼苗生长;自毒效应;隶属函数

中图分类号: S567.23+3.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)08-0158-04

白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz)为菊科苍术属多年生草本植物,其干燥根茎是常用的补益类中药,具有健脾益气、止汗安胎等功效,临床应用广,市场需求量大,但在栽培过程中发现白术存在严重的连作障碍^[1-5],植物自毒作用是连作障碍产生的重要因子之一。目前关于白术自毒作用的研究只有少量报道,徐建中等通过测定白术苗长和根长判断不同生育期白术地上部和地下部水浸液、白术根系土壤水浸液及有机溶剂浸提液、根系分泌物对白术幼苗的自毒作用^[6]。本

试验通过测定白术种子萌发和幼苗生长的十多种相关指标研究白术植株茎叶和根系水浸液的自毒效应,试图用更多的参数分析白术自毒作用机理,并利用隶属函数消除个别指标的片面性,对不同处理下白术长势优劣进行综合分析,为解决白术栽培过程中的连作障碍问题提供参考。

1 材料与方

1.1 试验材料

试验于2015年9月3日至10月5日在贵州师范大学花溪校区生命科学学院1505实验室进行,白术种子购买于河北安国市张步乡村。

1.2 试验方法

1.2.1 水浸液的制备 采用随机取样法收集1年生白术茎叶和根系,参考马瑞君等的水浸液制备方法^[7]:将白术苗茎叶、根系剪小段,新鲜茎叶加4倍蒸馏水浸提母液,新鲜根系

收稿日期:2017-11-25

基金项目:贵州省中药现代化项目[编号:黔科合中药字(2012)5004-1号]。

作者简介:王红佳(1993—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,研究方向为药用植物的开发与利用。E-mail:1272377922@qq.com。

通信作者:龚宁,教授,硕士生导师,研究方向为资源植物生理生化及药用植物开发。E-mail:gn2033@126.com。

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[M].北京:中国植物志编委会,1982:37-38.
- [2]冯志坚,应梦云,肖红.广东省樟科树种的园林特性评价[J].广东园林,2014(5):55-58.
- [3]刘世忠,薛克娜,孔国辉,等.大气污染对35种园林植物生长的影响[J].热带亚热带植物学报,2003,11(4):329-335.
- [4]黄秋生,刘光华,贾贤,等.广东省润楠属植物资源现状与保育对策[J].广东林业科技,2014,30(6):72-76.
- [5]宗卫. CaCl₂ 和 SA 对樟科三种常绿阔叶树种幼苗的抗寒性研究[D].荆州:长江大学,2013.
- [6]王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2006.
- [7]Stevens J, Senaratna T, Sivasithamparam K. Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilisation[J]. Plant Growth Regulation,2006,49(1):77-83.
- [8]刘国华,栾以玲,张艳华.自然状态下竹子的抗寒性研究[J].竹子研究汇刊,2006,25(2):10-14.

- [9]何开跃,李晓储,黄利斌,等.3种含笑耐寒生理机制研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(4):62-64.
- [10]邵文鹏.几种常绿阔叶植物抗寒性研究[D].泰安:山东农业大学,2009.
- [11]Kováčik J, Klejdus B. Dynamics of phenolic acids and lignin accumulation in metal-treated *Matricaria chamomilla* roots[J]. Plant Cell Reports,2008,27(3):605-615.
- [12]Bowler C, And M V M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology,1992,43(1):83-116.
- [13]李斌,刘立强,罗淑萍,等.扁桃花芽的抗寒性测定与综合评价[J].经济林研究,2012,30(3):16-21.
- [14]刘西平.低温胁迫下栎树幼苗衰老与膜脂质过氧化关系[J].西北林学报,1995,10(4):72-75.
- [15]高洪波,陈贵林.钙调素拮抗剂和钙对茄子嫁接苗抗冷性的影响[J].园艺学报,2002,29(3):243-246.
- [16]Lin S Z, Zhang Z Y. Role of SA in cold acclimation-induced freezing resistance of *Populus tomentosa* Cuttings[J]. Forestry Studies in China,2002,4(2):38-42.
- [17]方小平,李昌艳,胡光平.贵州4种木兰科植物幼苗的抗寒性研究[J].林业科学研究,2010,23(6):862-865.

加5倍蒸馏水浸提母液,密封24 h后过滤,4℃保存备用。将茎叶和根系母液稀释为2、7、12 mg/mL浓度的水浸液。

1.2.2 白术水浸液对白术种子萌发的影响 采用纸床法进行生物测定,每种处理为5个培养皿,每皿均匀播种20粒大小均一的白术种子,分别加入不同浓度茎叶和根系水浸液,蒸馏水作对照,并定时补充水浸液和蒸馏水,每处理重复3次。每天观察记录种子的发芽情况,计算发芽率和发芽势:发芽率=(发芽种子数/实验种子总数)×100%;发芽势=规定时间内(5 d)发芽种子数/试验种子总数×100。萌发的白术种子中 α -淀粉酶和 β -淀粉酶活性的测定采用3,5-二硝基水杨酸法^[8]。

1.2.3 白术水浸液对白术幼苗生长的影响 白术幼苗生长测定采用纸杯法^[8]:将预萌发的种子播种在纸杯中,每处理10杯,每杯10粒,分别加入2 mL不同浓度茎叶和根系水浸液,蒸馏水作对照,并定时补充水浸液和蒸馏水,每处理重复3次。20 d后对幼苗进行生长测定。采用2,4-二氯苯酚比色法测定下胚轴的吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性^[9];采

用氯化三苯基四氮唑(TTC)法进行测定根系活性^[10]。

1.2.4 数据统计分析 采用SPSS 17.0和LSD(最小显著差异法)进行单因素分析、显著性分析,并用隶属函数进行综合分析。

2 结果与分析

2.1 白术水浸液对白术种子萌发的影响

由表1可知,白术水浸液能降低其种子的发芽率和发芽势,12 mg/mL茎叶和根系水浸液处理使白术发芽率极显著降低,浓度7 mg/mL根系水浸液处理使发芽势极显著降低。表明白术水浸液对其种子发芽率和发芽势有抑制作用,且中高浓度(7~12 mg/mL)水浸液抑制作用较强。

除12 mg/mL白术茎叶水浸液处理外,其他水浸液处理对 α -淀粉酶活性的抑制作用均达到极显著水平,并有低浓度促进、中高浓度抑制的效果;白术各水浸液处理均使 β -淀粉酶活性发生极显著变化,其茎叶水浸液有低浓度抑制、高浓度促进的效果,根系水浸液处理则均有促进效应。

表1 白术水浸液对白术种子萌发的影响

处理	浓度(mg/mL)	发芽率(%)	发芽势(%)	α -淀粉酶活性 [$\mu\text{g}/(\text{min}\cdot\text{g})$]	β -淀粉酶活性 [$\mu\text{g}/(\text{min}\cdot\text{g})$]
CK		77.14±17.45aA	22.86±5.72aA	16 033.33±32.305cC	109 133.33±53.955eE
茎叶水浸液	2	64.76±23.09abAB	15.24±8.73abAB	18 562.96±7.365bB	90 548.15±206.850gG
	7	53.33±3.30abAB	17.14±9.90abAB	15 135.48±238.235dD	93 445.16±198.910fF
	12	38.10±6.59bB	13.33±14.38abAB	15 972.41±9.205cC	139 406.90±6.815aA
根系水浸液	2	68.57±26.19abAB	19.05±3.30abAB	20 412.50±14.250aA	119 150.00±7.080cC
	7	62.85±20.60abAB	11.43±5.72bB	14 548.57±337.120eE	117 051.43±481.790dD
	12	41.91±23.79bB	13.33±6.60abAB	11 950.00±15.360fF	138 862.50±29.540bB

注:同列数据后不同小写字母、大写字母分别表示在0.05、0.01水平上差异显著。下表同。

2.2 白术水浸液对白术幼苗生长的影响

从表2可以看出,白术水浸液处理使其幼苗除茎叶质量没有显著变化,其株高、根长、根质量、根数、下胚轴IAAO活性、根系活性和单株质量都发生一定程度的变化。

与对照组相比,茎叶水浸液处理下白术根质量显著降低,IAAO活性极显著上升;2 mg/mL处理下株高显著降低,根长、根数、根系活性显著下降,单株质量没有显著变化;7 mg/mL处理下株高、根数、单株质量没有显著变化,极显著降低白术

的根长和根系活性;12 mg/mL处理显著降低单株质量,极显著降低株高根长、根质量、根数和根系活性。结果表明,高浓度茎叶水浸液对白术的抑制作用较大。

与对照组相比,根系水浸液处理下白术幼苗的根质量、根数、单株质量没有显著变化;2 mg/mL处理下株高显著升高,根长、IAAO活性没有显著变化,根系活性极显著降低;7 mg/mL处理下株高没有显著变化,IAAO活性显著升高,根长极显著降低,根系活性极显著升高;12 mg/mL处理下株高、

表2 白术水浸液对白术幼苗生长的影响

处理	浓度(mg/mL)	株高(cm)	根长(cm)	茎叶质量(g)	根质量(g)
CK		4.29±0.690bcAB	2.20±0.070aAB	0.069±0.021abA	0.024±0.009 5aA
茎叶水浸液	2	3.70±0.180cB	0.75±0.350dD	0.040±0.020abA	0.010±0.002 0cB
	7	5.04±1.300abAB	1.69±0.310bcBC	0.059±0.009abA	0.014±0.005 0bcB
	12	2.00±0.540dC	0.30±0.140eD	0.030±0.010bA	0.010±0.001 0cB
根系水浸液	2	5.84±0.700aA	2.57±0.440aA	0.066±0.016abA	0.033±0.002 0aA
	7	4.01±0.470bcB	1.50±0.280cC	0.066±0.037abA	0.024±0.002 0aA
	12	4.98±0.230abcAB	2.12±0.160abABC	0.067±0.022abA	0.023±0.008 0abA

处理	浓度(mg/mL)	根数	吲哚乙酸氧化酶活性 [$\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{mL})$]	根系活性 [$\text{mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$]	单株质量(g)
CK		5.00±0.780aA	214.92±0.285deCD	104.76±1.780cC	0.093±0.032abAB
茎叶水浸液	2	2.00±0.150bB	1 619.36±25.760bB	47.96±0.245fF	0.050±0.020bcAB
	7	4.63±0.405aA	230.60±7.935dC	87.48±6.490dD	0.073±0.006abcAB
	12	1.00±0.020cC	1 751.88±5.890aA	21.12±1.225gG	0.040±0.010cB
根系水浸液	2	4.86±0.910aA	234.80±7.820dC	65.45±1.295eE	0.099±0.015aA
	7	4.25±0.420aA	236.77±8.080cC	113.36±1.960bB	0.090±0.026abAB
	12	5.00±0.380aA	199.11±0.420eD	190.45±2.465aA	0.090±0.030abAB

根长、IAAO 活性没有显著变化,根系活性极显著升高。结果表明,白术对茎叶水浸液的生理响应强于根系水浸液。

2.3 白术水浸液处理下白术种子萌发及幼苗生长指标的受害系数 α 值

由表 3 可知,白术水浸液处理使其大多数种子萌发及幼苗生长指标的 α 值大于 0,说明白术存在一定的自毒作用。白术种子下胚轴 IAAO 活性变化幅度最大,且 α 值均大于 0,

表 3 白术水浸液处理下各指标的 α 值

处理	浓度 (mg/mL)	α 值 (%)											
		发芽率	发芽势	株高	根长	根数	茎叶质量	根质量	根系活性	吡啶乙酸 氧化酶活性	α -淀粉酶 活性	β -淀粉酶 活性	单株质量
茎叶水浸液	2	16.052	33.338	13.753	65.909	60.000	42.029	58.333	54.216	653.459	-15.777	17.030	46.237
	7	30.865	24.996	-17.483	23.182	7.467	13.043	41.667	16.495	7.296	5.600	14.375	21.505
	12	50.616	41.665	53.380	86.364	80.000	56.522	58.333	79.840	715.119	0.380	-27.740	56.989
根系水浸液	2	11.109	16.669	-36.131	-16.818	2.800	4.348	-37.500	37.527	9.248	-27.313	-9.178	-6.452
	7	18.524	50.007	6.527	31.818	15.000	4.348	0.000	-8.209	10.165	9.260	-7.255	3.226
	12	45.677	41.680	-16.084	3.636	0.000	2.900	4.167	-81.793	7.358	25.468	-27.241	3.226

2.4 白术水浸液对白术种子萌发及幼苗生长影响的综合评价

各项指标均从不同角度反映白术自身毒害作用的程度,但各指标对白术影响程度不一致,难以直接对白术的影响进

行综合评价,因此用隶属函数进行综合分析,在综合受害指标 D 值计算时引入指标权数,排除个别指标的片面性^[11](表 4、表 5)。

表 4 白术各水浸液处理各指标的 U_{ij} 值及指标权数

处理	浓度 (mg/mL)	U_{ij} 值											
		单株质量	发芽率	发芽势	苗高	根长	根数	茎叶质量	根质量	根系活性	吡啶乙酸 氧化酶活性	α -淀粉酶 活性	β -淀粉酶 活性
CK		0.898	1.000	1.000	0.596	0.837	1.000	1.000	0.609	0.494	0.010	0.517	0.620
茎叶水浸液	2	0.169	0.683	0.333	0.443	0.198	0.250	0.256	0.000	0.159	0.915	0.219	1.000
	7	0.559	0.390	0.500	0.792	0.612	0.907	0.769	0.174	0.392	0.020	0.624	0.941
	12	0.000	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.525	0.000
根系水浸液	2	1.000	0.781	0.667	1.000	1.000	0.965	0.923	1.000	0.262	0.023	0.000	0.415
	7	0.847	0.634	0.000	0.523	0.529	0.813	0.923	0.609	0.545	0.024	0.693	0.458
	12	0.847	0.098	0.167	0.776	0.802	1.000	0.940	0.565	1.000	0.000	1.000	0.630
相关系数(r)		0.489	0.362	0.804	0.948	0.944	0.974	0.926	0.660	-0.937	-0.101	-0.101	
指标权数		0.067	0.050	0.111	0.131	0.130	0.134	0.128	0.091	-0.129	-0.014	-0.014	

表 5 白术各水浸液处理各指标的 Y_{ij} 值及综合 D 值

处理	浓度 (mg/mL)	Y_{ij} 值												D 值	排序
		发芽率	发芽势	苗高	根长	根数	茎叶重	根重	根系活性	吡啶乙酸 氧化酶活性	α -淀粉酶 活性	β -淀粉酶 活性			
CK		0.067	0.050	0.066	0.110	0.130	0.134	0.078	0.045	-0.001	-0.007	-0.009	0.663	2	
茎叶水浸液	2	0.046	0.017	0.049	0.026	0.033	0.034	0.000	0.014	-0.118	-0.003	-0.014	0.084	6	
	7	0.026	0.025	0.088	0.080	0.118	0.103	0.022	0.036	-0.003	-0.009	-0.013	0.474	5	
	12	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.129	-0.007	0.000	-0.128	7	
根系水浸液	2	0.053	0.033	0.111	0.131	0.126	0.124	0.128	0.024	-0.003	0.000	-0.006	0.720	1	
	7	0.043	0.000	0.058	0.069	0.106	0.124	0.078	0.050	-0.003	-0.010	-0.006	0.508	4	
	12	0.007	0.008	0.086	0.105	0.130	0.126	0.072	0.091	0.000	-0.014	-0.009	0.603	3	

注: $Y_{ij} = U_{ij} \times (r_j / \sum |r_j|), r_j / \sum |r_j|, r_j$ 为第 j 个指标的相关系数。

由表 5 计算的 D 值可知,白术水浸液处理下白术长势优劣的综合排序为 2 mg/mL 根系水浸液 > 蒸馏水 (CK) > 12 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 茎叶水浸液 > 2 mg/mL 茎叶水浸液 > 12 mg/mL 茎叶水浸液。由上述 D 值排序可见,茎叶水浸液的毒害作用 > 根系水浸液的毒害作用,其中 12 mg/mL 茎叶水浸液的毒害作用最大;除 2 mg/mL 根系水浸液处理的 D 值大于对照外,其余各处理 D

值均小于对照。说明白术茎叶水浸液和高浓度的根系水浸液对自身有一定的毒害作用,推测低浓度的根系水浸液可以诱导自身发挥保护作用,或者产生的毒害物质没有达到自毒作用的临界浓度。

3 讨论与结论

自毒作用指植物通过向环境中释放化学物质对同种植物

产生直接或间接的有害作用,是一种特殊的化感作用^[12]。测定种子萌发和幼苗生长是研究化感和自毒作用常用的生物测定方法^[13-17]。本研究测定了发芽率、发芽势、株高、根长、根数、根质量、茎叶质量、单株质量、 α -淀粉酶活性、 β -淀粉酶活性、下胚轴 IAAO 活性、根系活性 12 项指标,发现这些指标既有正向变化也发生负向变化,难以全面准确判断白术水浸液对自身毒害作用程度,因此利用隶属函数综合分析白术的自毒效应,用表述长势优劣的 D 值进行排序。本研究 D 值排序为 2 mg/mL 根系水浸液 > 蒸馏水(CK) > 12 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 根系水浸液 > 7 mg/mL 茎叶水浸液 > 2 mg/mL 茎叶水浸液 > 12 mg/mL 茎叶水浸液。除 2 mg/mL 根系水浸液处理的 D 值大于对照,其余各处理值均小于对照,说明白术茎叶水浸液和中高浓度的根系水浸液处理对白术种子萌发、幼苗生长有抑制作用,存在一定的自毒效应;低浓度根系水浸液处理对白术种子萌发、幼苗生长表现出促进作用,即高抑制、低促进浓度效应,类似植物生长素的“两重性”^[18]。这与前人在当归^[19]、黄芪^[20]、苜蓿^[21-23]等研究结果一致,但也有一些作物研究结果不同,如王广印等研究辣椒植株水浸液对辣椒种子萌发自毒作用发现辣椒具有自毒作用,且随水浸液浓度增大作用增强,但没表现出有高抑制、低促进效应^[24]。推测白术低浓度根系水浸液产生的毒害作用没有达到产生自毒作用的临界浓度,在白术自身可调节范围之内,并积极诱导了自我保护作用。

植物不同器官浸提液产生自毒效应的程度不同^[25-28]。本研究表明,浓度相同时,白术不同部位水浸液产生的自毒效果不同,即白术茎叶水浸液的自毒作用大于根系水浸液的自毒作用,这与徐建中研究的结果^[6]类似。荣思川等在紫花苜蓿自毒效应研究中也发现叶和茎浸提液对种子萌发和幼苗生长的自毒效果大于根浸提液^[23]。马瑞君等通过不同发育期地上部和根部水浸液对其种子萌发和幼苗生长进行自毒作用研究也发现,当归地上部综合自毒效应强于根部^[7]。张新慧等发现,蒙古黄芪植株不同部位水浸液自毒效应是茎 > 叶 > 根^[20]。也有结果显示,地黄^[29]、马铃薯^[25]根系自毒作用大于叶。还有结果表明,藿香不同部位水浸液对其幼苗的自毒作用强弱为叶 > 根 > 茎^[26]。说明自毒效应与植物种类、植物不同部位以及自毒物质浓度有关。本研究结果表明,白术茎叶自毒效应大于根系,自然栽培条件下,白术茎叶水溶性自毒物质很可能通过雨水、喷雾等方式淋溶浸入土壤并产生自毒作用。建议在白术栽培过程中采用根系滴管灌溉方式,设置合理的排水措施,及时清理残根落叶,从而减少白术的自毒作用,缓解白术的连作障碍。

参考文献:

[1] 刘慧慧,赵来顺. 白术根腐病研究初报[J]. 中草药,1990(6): 32-33.
 [2] 杨洁,方成武. 中药白术的质量研究现状与展望[J]. 中国当代医药,2010,17(1):5-7.
 [3] 潘秋祥,潘显能,袁伯新,等. “连作”生物有机肥在白术重茬中的应用效果[J]. 河北农业科学,2008,12(5):57,59.
 [4] 徐建中,孙乙铭,王志安,等. 白术—玉米轮作对白术植株生长及产量影响研究[J]. 中国现代中药,2012,14(2):40-42.

[5] Song R, Deng K, Zhu X Q, et al. Analysis of the causes of continuous cropping obstacles for *Atractylodes macrocephala* Koidz in Pingjiang County and its control methods [J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(3): 462-466.
 [6] 徐建中,王志安,孙乙铭,等. 白术自毒作用研究[J]. 中国现代中药,2011,13(11):25-27,48.
 [7] 马瑞君,惠继瑞,朱慧,等. 当归营养期的化感作用[J]. 中国生态农业学报,2008,16(6):1483-1488.
 [8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:169-172.
 [9] 刘萍,李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京:科学出版社,2007:144-147.
 [10] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,1990:59-64.
 [11] 周广生,周竹青,朱旭彤. 用隶属函数法评价小麦的耐湿性[J]. 麦类作物学报,2001,21(4):34-37.
 [12] 王强,阮晓,李兆慧,等. 植物自毒作用及针叶林自毒研究进展[J]. 林业科学,2007,43(6):134-142.
 [13] 黎韵琪,李明,唐堃,等. 穿心莲营养体的化感自毒作用研究[J]. 北方园艺,2014(21):157-160.
 [14] 杨瑞秀. 甜瓜根系自毒物质在连作障碍中的化感作用及缓解机制研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2014:19-21.
 [15] 吴娜. 入侵植物加拿大一枝黄花根系活性物质的化感效应及其机理研究[D]. 镇江:江苏大学,2016:12-14.
 [16] 许可成. 麻花秦芥化感作用及其抗氧化活性的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014:18-21.
 [17] 鲍红春. 沙芥化感作用的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2015:18-19.
 [18] 李主平. 生长素生理作用的“低浓度”与“高浓度”的界定[J]. 生物学教学,2009,34(9):47.
 [19] Zhang X H, Zhang E H, Fu X Y, et al. Autotoxic effects of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels [J]. Allelopathy Journal, 2010, 26(1): 1-11.
 [20] 张新慧,郎多勇,陈靖,等. 蒙古黄芪植株水浸液的自毒作用研究[J]. 中药材,2014,37(2):187-191.
 [21] 袁莉,鲁为华,于磊. 紫花苜蓿生长前期各部位提取液对种子萌发的自毒作用[J]. 中国草地学报,2007,29(5):111-114.
 [22] 寇建村,杨文权,冯桂丽,等. 不同苜蓿品种根、茎、叶水浸液化感作用研究[J]. 草地学报,2008,16(1):70-75.
 [23] 荣思川,王美宁,向素梅,等. 不同紫花苜蓿品种植株浸提液对种子萌发和幼苗生长的自毒效应[J]. 草原与草坪,2016,36(4):6-15.
 [24] 王广印,韩世栋,谢玉会,等. 辣椒植株水浸液对辣椒和番茄种子萌发的自毒作用[J]. 华北农学报,2009,24(3):123-127.
 [25] 万年鑫,袁继超,何卫,等. 马铃薯不同器官浸提液的自毒作用[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2016,42(4):411-418.
 [26] 薛启,王康才,梁玉富,等. 藿香不同部位浸提液对其种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 南京农业大学学报,2017,40(4):611-617.
 [27] 马红梅,赵培芳. 灵芝连作障碍下的自毒作用[J]. 北方园艺,2016(6):133-136.
 [28] 周秀梅,王玉杰,李保印,等. 木香需水浸液对其种子萌发的自化感效应[J]. 北方园艺,2016(15):62-66.
 [29] 刘红彦,王飞,王永平,等. 地黄连作障碍因素及解除措施研究[J]. 华北农学报,2006,21(4):131-132.