

Determination of Allelopathic Effects of Residue Decomposition of *Cyclobalanopsis glaucoides* on *Triticum aestivum*

Tianxing Li*, Hongwei Yang, Zhicai Mao

School of Chemistry and Life Sciences, Chuxiong Normal University, Chuxiong Yunnan
Email: lxhx@163.com

Received: Mar. 15th, 2018; accepted: Mar. 27th, 2018; published: Apr. 4th, 2018

Abstract

In order to explore the release pathway of allelochemicals of *Cyclobalanopsis glaucoides*, allelopathy of extract solution of residue decomposition of *Cyclobalanopsis glaucoides* in central Yunnan province on seed germination and seedling growth of *Triticum aestivum* was studied. The results showed that the seed germination percentage, root length, seedling height, number of roots, seedling fresh and dry weight, Chla, Chlb, Chl contents, Chla/Chlb of *Triticum aestivum* were reduced by the time and depth of stems and leaves buried in the earth of *Cyclobalanopsis glaucoides*. It was found that the seed germination, seedling growth and Chla, Chlb, Chl contents, Chla/Chlb of *Triticum aestivum* were increased with increasing time of stems and leaves buried in the earth (TSLB) of *Cyclobalanopsis glaucoides*, but at this point there was no regular change about depth of stems and leaves buried in the earth (DSL) of *Cyclobalanopsis glaucoides*.

Keywords

Allelopathy, *Cyclobalanopsis glaucoides*, Residue Decomposition, *Triticum aestivum*

滇青冈残体分解物对小麦化感作用测定

李天星*, 杨红卫, 毛志才

楚雄师范学院化学与生命科学学院, 云南 楚雄
Email: lxhx@163.com

收稿日期: 2018年3月15日; 录用日期: 2018年3月27日; 发布日期: 2018年4月4日

*通讯作者。

摘要

为探索滇青冈化感物质的释放途径,研究了滇中地区滇青冈残体分解物水浸液对小麦种子及其幼苗的化感作用。结果表明:滇青冈残体在土壤中的分解时间和埋藏深度对小麦种子萌发率和幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的部分指标(根长、苗高、根数目、幼苗鲜重和干重)都具有抑制作用。研究发现,伴随着滇青冈茎和叶在土壤中分解时间(TSLB)的延长,其残体分解物水浸液对小麦种子萌发和幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的抑制效应不断减弱,而滇青冈茎和叶在土壤中埋藏深度(DSLB)的增加,其残体分解物水浸液对小麦种子萌发和幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的抑制效应未呈现出规律性的变化。

关键词

化感作用, 滇青冈, 残体分解物, 小麦

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植物化感作用是指植物之间通过化学物质相互影响(有正向的, 也有负向的)的现象[1], 通过对植物间化感作用的研究, 可以揭示植物种群、群落乃至整个生态系统的时空分布格局及其演化的原因和机制以及指导农林业生产[2] [3] [4] [5] [6]。植物化感物质释放途径的研究是植物化感作用研究的一个重要方面[7] [8] [9], 对认识植物间化感作用发生的机理和利用植物化感物质合成生物除草剂等都有非常重要的意义和价值, 植物残体分解物化感作用的测定是植物化感物质释放途径研究中的一个基本方法。

滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)为壳斗科青冈属植物, 其以云南高原为分布中心, 作为常绿阔叶林的优势种, 生长于半湿润常绿阔叶林的各种类型中, 具有较广的生态适应幅度, 物种间化学关系比较复杂, 是一个较好的进行化感作用研究的类群, 目前对滇青冈的研究主要集中在形态学方面和生理生态学方面[10]-[18], 还未涉及到化感作用方面的研究。小麦(*Triticum aestivum*)由于其种子萌发速度快而整齐而成为植物化感物质释放途径研究中的一种较好的受体材料。

滇青冈化感物质的释放途径研究对认识滇青冈化感作用发生的机理和利用其化感物质合成生物除草剂有非常重要的意义和价值, 为揭示滇青冈化感作用对云南高原森林植被自然恢复的影响机制提供理论依据和参考。

2. 材料与方法

2.1. 材料

供体植物滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)的茎叶, 采于楚雄紫溪山自然保护区(101°22'13"~101°26'53"E、24°58'28"~25°04'02"N, 总面积 160 km², 主峰海拔 2500 m), 供体植物由楚雄师范学院植物分类学教授徐成东老师鉴定, 受体植物小麦(*Triticum aestivum*)的种子购于楚雄益农种子店。

2.2. 滇青冈残体分解物水浸液的制备

采集滇青冈茎叶, 清水洗净晾干, 称取 50 g, 剪成 2 cm 的小段, 用网袋装好后, 把滇青冈茎叶埋土

(深度分别为 20 cm, 40 cm, 60 cm, 每个深度设置 3 次重复)分解(分解时间分别为 1 d, 5 d, 10 d, 20 d, 30 d), 分解后, 将不同的滇青冈茎叶残体在 60℃烘箱下烘干 4 h (至恒重)后, 用 200 mL 的蒸馏水在 18℃~20℃下浸提 24 h 后过滤, 以滤液作为培养液, 用小麦作为受体植物进行生物测定。

2.3. 小麦种子萌发试验

试验时, 将母液稀释为 0.05 mg/mL, 对小麦种子进行生物测定, 以无土包埋仅经烘干的滇青冈茎叶水浸液处理的为对照, 每天观察记录发芽(胚根或胚轴破皮 1~2 mm 时为萌发)种子的数量, 直到种子不再萌发时为止, 用发芽率(%)、发芽势(%)和发芽指数三个参数来分析[19] [20]。

$$\text{发芽率}(\%) = \text{发芽终期(第7天)正常发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%$$

$$\text{发芽势}(\%) = \text{发芽初期(第3天)正常发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum(G_t/D_t), G_t \text{ 为第 } t \text{ 天的发芽数, } D_t \text{ 为相应的发芽天数}$$

同时计算相应的化感效应指数(RI), $RI = 1 - C/T$ (当 $T \geq C$ 时, $RI \geq 0$; 当 $T < C$ 时, $RI < 0$)。式中, C 为对照值, T 为处理值。RI > 0 为促进效应, RI < 0 为抑制效应, 绝对值的大小代表化感作用强度的大小[21]。

当小麦种子发芽完成后, 测定其幼苗生长的部分指标(根长、苗高、根数目、幼苗鲜重和干重), 并分别计算其化感效应指数(RI)。

2.4. 小麦幼苗叶片中叶绿素含量的测定

叶绿素含量采用分光光度计法测定[22] [23] [24], 并计算其化感效应指数(RI)。

2.5. 数据分析

试验数据采用 SPSS17.0 软件进行分析, LSD 显著性在 0.05 水平上检测。

3. 结果与分析

3.1. 滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的影响

滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的影响, 从总体上看都呈现出“抑制”的现象, 滇青冈茎叶在土壤中的分解时间和埋藏深度对小麦种子萌发率及其幼苗生长的部分指标(根长、苗高、根数目、幼苗鲜重和干重)都具有抑制作用, 与对照相比都有显著差异(表 1 和表 2)。

从滇青冈茎叶在土壤中的不同分解时间的处理及其化感效应指数变化的情况来看, 虽然不同分解时间的处理都抑制了小麦种子的发芽率, 但 1 d、5 d、10 d 的分解时间对小麦种子发芽率的负面影响更大(三者间都有显著差异), 尤其是处理 5 d 的, 小麦种子的发芽率从对照的 92% 下降到 73.66%, 下降了 18.34%, 化感效应指数为 -0.249, 表现出明显的抑制作用, 从 1 d 到 5 d 抑制效应增强, 从 5 d 到 10 d、20 d、30 d 抑制效应减弱(表 1 和表 2)。到 30 d 时, 化感效应指数仅为 -0.022, 显示出随着处理时间的延长, 其对小麦种子发芽率的抑制效应不断减弱的现象。其对小麦种子发芽势的影响(其间都有显著差异)也呈现出从 1 d 到 5 d 抑制效应增强, 从 5 d 到 10 d、20 d、30 d 抑制效应减弱的现象, 化感效应指数达到了 -0.467, 发芽势比对照下降了 28%, 表现出更加明显的抑制作用(表 1 和表 2)。从发芽指数来看, 从 1 d 到 5 d 抑制效应增强, 从 5 d 到 10 d、20 d、30 d 抑制效应减弱的现象依存, 化感效应指数达到了 -0.507, 表现出强烈的抑制作用(表 1 和表 2)。

滇青冈茎叶在土壤中的不同分解时间的处理对小麦幼苗根长的影响(其间都有显著差异)也有同样的

Table 1. Effects of extract solution of residue decomposition of *C. glaucooides* on seed germination and seedling growth of *T. aestivum***表 1.** 滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的影响

分解时间(d) TSLB	埋藏深度 (cm) DSL B	发芽率(%) Germination rate	发芽势(%) Germination capacity	发芽指数 Germination index	根长 (mm) Root length	苗高 (mm) Seedling height	根数目 (根·株 ⁻¹) Root number	幼苗鲜重 (g·株 ⁻¹) Fresh weight of seedling	幼苗干重 (g·株 ⁻¹) Dry weight of seedling
CK	--	92.00a	88.00a	12.37a	92.46a	93.80a	4.45a	0.208a	0.057a
1	20	78.67d	69.33e	9.80c	64.54e	67.89e	3.50e	0.153d	0.041d
	40	78.00d	66.00e	9.20c	65.00e	66.78e	3.53e	0.154d	0.042cd
	60	78.00d	66.66e	9.81c	65.02e	67.56e	3.42e	0.148e	0.040d
5	20	74.00e	60.00f	8.94c	59.56f	65.01e	3.20f	0.145e	0.039d
	40	73.66e	61.66f	8.21cd	58.90f	64.88e	3.12f	0.138f	0.032e
	60	74.00e	60.00f	8.22cd	60.00f	65.12e	3.08f	0.126g	0.030e
10	20	84.70c	74.00d	10.36b	68.00d	69.98d	3.63d	0.156cd	0.045c
	40	85.00c	74.00d	10.21b	67.98d	71.03d	3.67d	0.160c	0.047bc
	60	85.00c	75.00d	10.48b	68.02d	72.20d	3.60d	0.155d	0.044c
20	20	88.33bc	77.66c	10.67b	72.00c	78.89c	3.87c	0.162c	0.048b
	40	87.78b	78.00c	10.57b	72.03c	77.98c	3.82c	0.161c	0.048b
	60	88.00bc	78.00c	10.64b	71.89c	79.00c	3.77c	0.165bc	0.049b
30	20	90.00b	82.33b	11.34b	78.00b	88.00b	4.15b	0.168b	0.050b
	40	90.03b	79.33bc	11.30b	77.69b	85.89b	4.10b	0.170b	0.051b
	60	89.96b	80.66b	11.53b	78.03b	87.03b	4.05b	0.171b	0.052b

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha = 0.05$)。

Table 2. Effects of extract solution of residue decomposition of *C. glaucooides* on RI of seed germination and seedling growth of *T. aestivum***表 2.** 滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的化感效应指数的影响

分解时间(d) TSLB	埋藏深度 (cm) DSL B	发芽率(%) RI Germination rate	发芽势(%) RI Germination capacity	发芽指数 RI Germination index	根长 (mm) RI Root length	苗高 (mm) RI Seedling height	根数目 (根·株 ⁻¹) RI Root number	幼苗鲜重 (g·株 ⁻¹) RI Fresh weight of seedling	幼苗干重 (g·株 ⁻¹) RI Dry weight of seedling
CK	--	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a
1	20	-0.169e	-0.269d	-0.262f	-0.433e	-0.382e	-0.271e	-0.359d	-0.390f
	40	-0.179e	-0.333d	-0.345g	-0.422e	-0.405e	-0.261e	-0.351d	-0.357f
	60	-0.179e	-0.320d	-0.261f	-0.422e	-0.388e	-0.301e	-0.405e	-0.425g
5	20	-0.243f	-0.467e	-0.384h	-0.552f	-0.443f	-0.391f	-0.434e	-0.462g
	40	-0.249f	-0.427e	-0.507i	-0.570f	-0.446f	-0.426f	-0.507f	-0.781h
	60	-0.243f	-0.467e	-0.505i	-0.541f	-0.440f	-0.445f	-0.651g	-0.900h
10	20	-0.086d	-0.189c	-0.194d	-0.360d	-0.340d	-0.226d	-0.333d	-0.267e
	40	-0.082d	-0.189c	-0.212e	-0.360d	-0.321d	-0.213d	-0.300d	-0.213d
	60	-0.082d	-0.173c	-0.180c	-0.359d	-0.299d	-0.236d	-0.342d	-0.295e
20	20	-0.042c	-0.133b	-0.159c	-0.284c	-0.189c	-0.150c	-0.284c	-0.188c
	40	-0.048c	-0.128b	-0.170c	-0.284c	-0.203c	-0.165c	-0.292c	-0.188c
	60	-0.045c	-0.128b	-0.163c	-0.286c	-0.187c	-0.180c	-0.261c	-0.163c
30	20	-0.022b	-0.069b	-0.091b	-0.185b	-0.066b	-0.072b	-0.238b	-0.140b
	40	-0.022b	-0.109b	-0.095b	-0.190b	-0.092b	-0.085b	-0.224b	-0.118b
	60	-0.023b	-0.091b	-0.073b	-0.185b	-0.078b	-0.099b	-0.216b	-0.096b

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha = 0.05$)。

现象，化感效应指数达到了-0.570，表现出强烈的抑制作用(表 1 和表 2)。而其对小麦幼苗苗高(地上部分)的影响(除了 1 d 和 5 d 的处理外，其余各组间都有显著差异)也出现了同样的现象，化感效应指数达到了-0.446，表现出明显的抑制作用(表 1 和表 2)。其对小麦幼苗根数目的影响(各组间都有显著差异)也有同

样的现象, 化感效应指数达到了-0.445, 表现出明显的抑制作用(表 1 和表 2)。其对小麦幼苗鲜重和干重的影响(二者各组间都有显著差异)也都出现了同样的现象, 小麦幼苗鲜重化感效应指数达到了-0.651, 小麦幼苗干重化感效应指数达到了-0.900, 表现出更加强烈的抑制作用(表 1 和表 2)。

但从滇青冈茎叶在土壤中的不同埋藏深度的处理及其化感效应指数变化的情况来看, 无论是 1 d、5 d、10 d 还是 20 d 和 30 d 的分解时间中, 20 cm、40 cm、60 cm 的不同埋藏深度对小麦种子的发芽率、发芽势、发芽指数、小麦幼苗根长、苗高和幼苗根数目都没有明显的影响(不同埋藏深度之间没有显著差异), 虽然在 1 d 和 5 d 处理时间下的小麦幼苗鲜重和干重的变化随埋藏深度的不同而出现了显著差异, 但从整体上看, 不同埋藏深度对小麦幼苗鲜重和干重的变化没有明显的影响。

3.2. 滇青冈残体水浸液对小麦幼苗叶绿素含量的影响

与滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的影响一样, 滇青冈残体水浸液对小麦幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量及 Chla/Chlb 比值的影响, 都呈现出“抑制”的现象, 滇青冈茎叶在土壤中的分解时间和埋藏深度对小麦幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量及 Chla/Chlb 的比值都有抑制作用, 与对照相比都有显著差异(表 3 和表 4)。

从滇青冈茎叶在土壤中的不同分解时间的处理及其化感效应指数变化的情况来看, 虽然不同分解时间的处理都抑制了小麦幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量及 Chla/Chlb 的比值(各组间基本都有显著差异), 但 1 d 和 5 d 的分解时间对小麦幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量及 Chla/Chlb 的比值的负面影响更大, 与滇青冈残体水浸液对小麦种子萌发率及其幼苗生长的影响一样, 还是处理 5 d 的抑制效应最明显, 经过 5 d 时间的处理后, 小麦幼苗叶绿素 a 的含量与对照相比, 下降了 45.09%, 化感效应指数为-0.821, 表现出非常强的抑制作用; 小麦幼苗叶绿素 b 的含量与对照相比, 下降了 34.48%, 化感效应指数为-0.526, 表现出非常明显的抑制作用; 小麦幼苗总叶绿素的含量与对照相比, 下降了 42.42%, 化感效应指数为-0.737, 也表现出了非常强的抑制作用; 而小麦幼苗 Chla/Chlb 的比值与对照相比, 下降了 16.44%, 化感

Table 3. Effects of extract solution of residue decomposition of *C. glaucooides* on seedling content of chlorophyll of *T. aestivum*

表 3. 滇青冈残体水浸液对小麦幼苗叶绿素含量的影响

分解时间(d) TSLB	埋藏深度(cm) DSL B	叶绿素 a 含量(mg·g ⁻¹) Content of chlorophyll a	叶绿素 b 含量(mg·g ⁻¹) Content of chlorophyll b	叶绿素含量(mg·g ⁻¹) Content of chlorophyll	Chla/Chlb
CK	--	1.73a	0.58a	2.31a	2.98a
1	20	1.09e	0.41d	1.50e	2.66d
	40	1.10e	0.42d	1.52e	2.62d
	60	1.13e	0.43d	1.56e	2.63d
5	20	0.97f	0.39e	1.36f	2.49e
	40	0.95f	0.38e	1.33f	2.50e
	60	0.98f	0.39e	1.37f	2.51e
10	20	1.25d	0.46c	1.71d	2.72c
	40	1.27d	0.47bc	1.74d	2.70c
	60	1.24d	0.46c	1.70d	2.70c
20	20	1.31c	0.48b	1.79c	2.73c
	40	1.32c	0.48b	1.80c	2.75b
	60	1.34c	0.49b	1.83c	2.73c
30	20	1.38b	0.50b	1.88b	2.76b
	40	1.39b	0.50b	1.89b	2.78b
	60	1.41b	0.51b	1.92b	2.76b

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha = 0.05$)。

Table 4. Effects of extract solution of residue decomposition of *C. glaucooides* on RI of seedling content of chlorophyll of *T. aestivum***表 4.** 滇青冈残体水浸液对小麦幼苗叶绿素含量的化感效应指数的影响

分解时间(d) TSLB	埋藏深度(cm) DSLБ	叶绿素 a 含量(mg·g ⁻¹) RI Content of chlorophyll a	叶绿素 b 含量(mg·g ⁻¹) RI Content of chlorophyll b	叶绿素含量(mg·g ⁻¹) RI Content of chlorophyll	Chla/Chlb RI
CK	--	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a
1	20	-0.587e	-0.415e	-0.540e	-0.120e
	40	-0.572e	-0.381e	-0.520e	-0.137f
	60	-0.531e	-0.349e	-0.481e	-0.133f
5	20	-0.784f	-0.487f	-0.699f	-0.197h
	40	-0.821g	-0.526f	-0.737f	-0.192h
	60	-0.765f	-0.487f	-0.686f	-0.187g
10	20	-0.384d	-0.261d	-0.351d	-0.096c
	40	-0.362d	-0.234d	-0.328d	-0.104d
	60	-0.395d	-0.261d	-0.359d	-0.104d
20	20	-0.321c	-0.208c	-0.291c	-0.092c
	40	-0.311c	-0.208c	-0.283c	-0.084b
	60	-0.291c	-0.184c	-0.262c	-0.092c
30	20	-0.254b	-0.160b	-0.229b	-0.080b
	40	-0.245b	-0.160b	-0.222b	-0.072b
	60	-0.227b	-0.137b	-0.203b	-0.080b

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha = 0.05$)。

效应指数为-0.197，也表现出了明显的化感抑制作用。总的一个现象是，从1 d到5 d抑制效应增强，从5 d到10 d、20 d、30 d抑制效应逐渐减弱(表3和表4)。

但从滇青冈茎叶在土壤中的不同埋藏深度的处理及其化感效应指数变化的情况来看，无论是1 d、5 d、10 d还是20 d和30 d的分解时间中，20 cm、40 cm、60 cm的不同埋藏深度对小麦幼苗叶绿素 a、b和总叶绿素含量及Chla/Chlb的比值都没有明显的影响(总体来看，不同埋藏深度之间并没有显著差异)，虽然Chla/Chlb的比值的RI变化随埋藏深度的不同而出现了部分的显著差异(表4)，但从整体上看，不同埋藏深度对小麦幼苗Chla/Chlb的比值的变化的影响没有明显的(表3和表4)。

4. 讨论与结论

综上所述，与通常对一般植物化感作用研究结果相似[25] [26] [27] [28] [29]，与对照相比，滇青冈残体在土壤中的分解时间和埋藏深度对小麦种子萌发率和幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的部分指标(根长、苗高、根数目、幼苗鲜重和干重)都表现出了化感抑制作用(表1~4)，说明滇青冈残体分解物化感作用是客观存在的，通过自然环境对其枯枝落叶的分解，释放其中的化感物质是滇青冈释放其化感物质的一个途径。

滇青冈茎叶在土壤中的不同分解时间的处理，对小麦种子的萌发率及其幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的部分指标的化感抑制作用，呈现出从1 d到5 d抑制效应增强，从5 d到10 d、20 d、30 d抑制效应减弱的现象(表1~4)；但在1 d、5 d、10 d、20 d、30 d的分解时间中，20 cm、40 cm、60 cm的不同埋藏深度对小麦种子萌发率和幼苗叶片中叶绿素含量及其幼苗生长的部分指标没有明显的(表1~4)。

叶绿素含量的变化通过植物的光合作用直接影响到植株的鲜重和干重，叶绿素含量的不断降低，必然导致小麦幼苗光合作用的效率不断下降，从源头上抑制了小麦幼苗的生长及其抗逆性[30]-[38]，必然导致其幼苗生长的部分指标呈现出下降的现象。

研究结果有利于人们探索滇青冈化感作用对云南高原森林植被自然恢复的影响机制,对森林植被的人工恢复、对认识滇青冈化感作用发生的机理和利用其化感物质合成生物除草剂提供参考。

致 谢

对云南大学叶辉教授和杨树华教授给予的帮助表示感谢!

基金项目

国家自然科学基金(31360102):滇青冈化感作用研究与生物除草剂研制;楚雄师范学院院级学术骨干计划(2011《植物学》)。

参考文献

- [1] Rice, E.L. (1984) Allelopathy. 2nd Edition, Academic Press, Orlando.
- [2] 段昌群. 生态科学进展(第三卷) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [3] 李绍文. 生态生物化学(二): 高等植物之间的生化关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(1): 66-70.
- [4] Fitter, A. (2003) Making Allelopathy Respectable. *Science*, **301**, 1337-1338. <https://doi.org/10.1126/science.1089291>
- [5] Inderjit and Duke, S.O. (2003) Ecophysiological Aspects of Allelopathy. *Planta*, **217**, 529-539. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>
- [6] Muller, C.H. (1969) Allelopathy as a Factor in Ecology Process. *Vegetation*, **18**, 348-357. <https://doi.org/10.1007/BF00332847>
- [7] 孔垂华, 胡飞. 植物化感作用及其应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [8] 阎凤鸣. 化学生态学[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [9] 孔垂华, 娄永根. 化学生态学前沿[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [10] 苏文华, 张光飞. 昆明西山滇青冈林内滇青冈种子库动态的研究[J]. 云南植物研究, 2002, 24(3): 289-294.
- [11] 邓敏. 壳斗科栎属青冈亚属的形态解剖、分类、分布及其系统演化[D]: [博士学位论文]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2007: 92-207.
- [12] 苏文华, 张光飞, 张诚. 滇青冈种子的萌发生态生物学研究[J]. 种子, 2001(5): 29-31.
- [13] 杨月, 魏开云. 昆明地区滇青冈群落的分布及其造景模式[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(1): 125-128.
- [14] 李彪. 格纹鹅膏菌丝体优化培养及与滇青冈室内共生研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2013: 34-38.
- [15] 曹建新, 张光飞, 张磊, 等. 滇青冈幼苗的光合和生长对不同生长光强的适应[J]. 云南植物研究, 2008, 28(1): 126-129.
- [16] 曹建新, 姜远标, 张劲峰, 等. 不同土壤条件下滇青冈和元江栲幼苗生长特征的比较[J]. 南京林业大学学报, 2009, 33(1): 79-82.
- [17] 郑元, 陈诗, 王大玮, 等. 滇青冈光合响应特征曲线研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(3): 1905-1914.
- [18] 周元. 滇青冈种子的萌发[J]. 植物生理学通讯, 2003, 34(4): 325-326.
- [19] 彭少麟, 文军. 植物化感物质活性变化及其作用机理研究进展[J]. 植物学报, 2004, 46(7): 757-760.
- [20] 幕小倩, 马燕, 王硕, 等. 黄花蒿化感作用机理的初步研究[J]. 西北植物学报, 2005, 23(5): 46-50.
- [21] Lin, W.X., Kim, K.U. and Smin, D.H. (2000) Rice Allelopathic Potential and Its Modes of Action on Barnyardgrass (*Echinochloa cr. sgalli*). *Allelopathy Journal*, **7**, 215-224.
- [22] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [23] 张志良, 翟伟菁, 李小芳. 植物生理学实验指导[M]. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [24] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [25] 李天星. 火烧迹地土千年健对麻栎化感作用及其机理研究[J]. 北方园艺, 2016(13): 77-81.
- [26] 李天星, 尹秋林. 火烧迹地土千年健对尼泊尔酸模的化感作用[J]. 北方园艺, 2016(18): 65-70.

- [27] 梅玲笑, 陈欣, 唐建军. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2379-2382.
- [28] 杨立学. 落叶松水浸液对胡桃楸种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1145-1147.
- [29] 曾大力, 钱前, 滕胜, 等. 水稻化感作用的遗传分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 70-73.
- [30] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 1998.
- [31] 赵福庚, 何龙飞, 罗庆云. 植物逆境生理生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [32] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [33] Walter Larcher. 植物逆境生理生态学[M]. 翟志席, 郭玉海, 马永泽, 等, 译. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [34] 李天星. 乙酰甲胺磷对盐胁迫下花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 170-172.
- [35] 李天星, 梁建华. 盐胁迫对花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 118-120.
- [36] 李天星. 氯化钠对乙酰甲胺磷胁迫下花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2013(19): 45-48.
- [37] 李天星. 乙酰甲胺磷对花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2013(8): 127-129.
- [38] 李天星. 乙酰甲胺磷和 NaCl 交叉胁迫对花椰菜种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 种子, 2015, 34(11): 5-7.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ije@hanspub.org