

# Determination of Allelopathic Effects of Overground Part Eluviation Substances of *Cyclobalanopsis glaucoides* on *Oryza sativa*

Tianxing Li, Hongwei Yang, Wentao Zhong

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

Received: Apr. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2018; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In order to explore the release pathway of allelochemicals of *Cyclobalanopsis glaucoides*, allelopathy of overground part eluviation substances of *Cyclobalanopsis glaucoides* in central Yunnan province on seed germination and seedling growth of *Oryza sativa* 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 of *Oryza sativa* were reduced by the order and leaf number of overground part eluviation of *Cyclobalanopsis glaucoides*. It was found that the seed germination, seedling growth and Chla, Chlb, Chl contents of *Oryza sativa* were increased with increasing overground part eluviation order (EO) of *Cyclobalanopsis glaucoides*, but at this point there was no regular change about leaf number (LN) of overground part eluviation of *Cyclobalanopsis glaucoides*.

## Keywords

Allelopathy, *Cyclobalanopsis glaucoides*, Overground Part Eluviation Substances, *Oryza sativa*

---

## 滇青冈地上部淋溶物对水稻化感作用测定

李天星, 杨红卫, 钟纹涛

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

收稿日期: 2018年4月8日; 录用日期: 2018年4月21日; 发布日期: 2018年4月28日

## 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地上部淋溶物对水稻种子及其幼苗的化感作用。结果表明:对滇青冈地上部淋溶的次序和每次被淋溶的滇青冈叶片数目对水稻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,伴随着对滇青冈地上部淋溶的次序(EO)的后延,其地上部淋溶物对水稻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,而滇青冈地上部每次被淋溶的叶片数目(LN)的增加,其地上部淋溶物对水稻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, 地上部淋溶物, 水稻

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

植物之间借助于化学物质而形成的正向或负向的相互影响的现象,就是植物间的化感作用[1],通过对其的研究,不仅可以指导农林业生产,还可以揭示植物种群、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[2] [3] [4] [5] [6]。植物化感物质释放途径的研究是其中的一个重要方面[7] [8] [9],植物化感物质释放途径通常有植物地上部(茎叶)的淋溶(一般情况下主要考虑叶片的淋溶)、地上部(茎叶)的挥发、植物根分泌物和残根分解以及植株的降解等,因此植物地上部淋溶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重要组成部分。

作为壳斗科青冈属植物的滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*),是常绿阔叶林的优势种,生态适应幅度较广,其以云南高原为中心,分布在半湿润常绿阔叶林的各种类型中,不同物种间化学关系复杂,是进行化感作用研究的一个比较好的类群,而目前对其的研究却主要集中在形态学方面和生理生态学方面[10]-[18],对其化感作用方面的研究还未涉及。水稻(*Oryza sativa*)作为一种主要的粮食作物,一直是植物化感作用研究中的一种较好的受体材料。

本研究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,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。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料

供体植物滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)选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 km<sup>2</sup>,主峰海拔 2500 m),由楚雄师范学院植物分类学教授徐成东老师鉴定,受体植物水稻(*Oryza sativa*)的种子购于楚雄益农种子店。

### 2.2. 滇青冈地上部淋溶液的收集

对每个叶片用等量蒸馏水分别对不同叶片数目(分别为 50 片、100 片、150 片、200 片、250 片)的滇

青冈地上部进行有序的5次淋溶(分别为第1次、第2次、第3次、第4次、第5次,即第1次淋溶液收集完后就立即开始第2次淋溶,直至第5次淋溶液收集完为止),分次同时分叶片数目收集,得到每一次的不同叶片数目的滇青冈地上部淋溶液。

### 2.3. 水稻种子萌发试验

试验时,以淋溶液作为培养液,将两层滤纸垫入培养皿( $\Phi = 9\text{ cm}$ ),加入培养液,使滤纸饱和吸水后作为发芽床,用水稻种子进行生物测定,用蒸馏水作对照,在室内自然状态下培养。记录发芽(胚根或胚轴破皮1~2 mm时为萌发)种子数,到种子不再萌发时止,用发芽率(%)、发芽势(%)和发芽指数三个指标来进行统计分析[19] [20]。

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

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

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

并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]。

当水稻种子萌发生成幼苗后,对其幼苗生长的部分指标(根长、苗高、根数目、幼苗鲜重和干重)进行测定,同时分别计算其相应的化感效应指数(RI)。

### 2.4. 水稻幼苗叶片中叶绿素含量的测定

采用分光光度计法测定[22] [23] [24],同时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. 滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的影响

滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的影响,从总体上看,除了第5次淋溶的部分指标和其它次淋溶的个别指标外,基本上呈现出了“抑制”的现象,滇青冈地上部被淋溶的先后次序和每次被淋溶的滇青冈叶片数目对水稻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)具有抑制作用,与对照相比有显著差异(表1和表2)。

从滇青冈地上部被淋溶的先后次序及其化感效应指数变化的情况来看,从第1次淋溶到第5次淋溶基本上都出现了抑制水稻种子发芽率的现象,但第1次、第2次淋溶对水稻种子发芽率的负面影响更大,尤其是第2次淋溶,水稻种子的发芽率从对照的96.67%下降到87.50%,下降了9.17%,化感效应指数为-0.105,表现出明显的抑制作用。从第1次淋溶到第2次淋溶抑制效应增强,从第2次淋溶到第3次淋溶、第4次淋溶、第5次淋溶,抑制效应减弱(表1和表2)。到第5次淋溶,化感效应指数最低的仅为-0.036,显示出随着被淋溶的次序的后延,其对水稻种子发芽率的抑制效应不断减弱。其对水稻种子发芽势的影响也呈现出从第1次淋溶到第2次淋溶抑制效应增强的趋势,而从第2次淋溶到第3次、第4次、第5次淋溶抑制效应减弱的现象,化感效应指数达到了-0.119,发芽势比对照下降了10%,展示出更加明显的抑制作用(表1和表2)。从发芽指数来看,其变化也呈现出从第1次淋溶到第2次淋溶抑制效应增强,从第2次淋溶到第3次、第4次、第5次淋溶抑制效应减弱的现象,化感效应指数达到了-0.194,显示了较为强烈的抑制作用(表1和表2)。

**Table 1.** Effects of overground part eluviation substances of *C. glaucooides* on seed germination and seedling growth of *O. sativa***表 1.** 滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的影响

淋溶次序(次) EO	叶片数目(片) LN	发芽率(%) Germination rate	发芽势(%) Germination capacity	发芽指数 Germination index	根长 (cm) Root length	苗高 (cm) Seedling height	根数目 (根·株 <sup>-1</sup> ) Root number	幼苗鲜重 (g·株 <sup>-1</sup> ) Fresh weight of seedling	幼苗干重 (g·株 <sup>-1</sup> ) Dry weight of seedling
CK	0	96.67a	94.17a	8.80a	5.45a	2.30a	4.50a	0.736a	0.183a
1	50	94.17b	92.50b	8.39b	5.40b	2.26ab	4.27c	0.711c	0.178bc
	100	93.25bc	90.83c	8.05cd	5.38b	2.23b	4.37b	0.710c	0.178bc
	150	91.67c	88.33d	7.74e	5.37b	2.24b	4.40b	0.709cd	0.177c
	200	90.83cd	88.33d	7.79e	5.34c	2.24b	4.27c	0.706d	0.178bc
	250	90.00d	87.50e	7.84d	5.30d	2.26ab	4.27c	0.703d	0.176c
2	50	93.33bc	90.83c	8.23c	5.41ab	2.25b	4.27c	0.702d	0.176c
	100	91.67c	87.50e	7.94d	5.36bc	2.25b	4.30c	0.710c	0.177c
	150	90.83cd	88.33d	7.73e	5.31cd	2.23b	4.27c	0.702d	0.176c
	200	90.00d	85.83f	7.54f	5.29d	2.20c	4.30c	0.701d	0.175c
	250	87.50e	84.17g	7.37g	5.26d	2.19c	4.20d	0.689e	0.172d
3	50	95.00ab	91.67b	8.42b	5.44a	2.27ab	4.37b	0.711c	0.178bc
	100	94.17b	89.17d	8.13c	5.40b	2.25b	4.33bc	0.712c	0.178bc
	150	93.33bc	89.17d	8.12c	5.39b	2.26ab	4.37b	0.706d	0.176c
	200	92.50c	87.50e	7.90d	5.39b	2.24b	4.37b	0.703d	0.176c
	250	91.67c	86.67e	7.88d	5.31cd	2.21bc	4.37b	0.701d	0.175c
4	50	95.83a	91.67b	8.21c	5.42a	2.28a	4.40b	0.719bc	0.180b
	100	95.00ab	92.50b	8.33b	5.40b	2.27ab	4.37b	0.715c	0.179b
	150	94.17b	90.83c	8.30b	5.38b	2.28a	4.30c	0.714c	0.178bc
	200	94.17b	89.17d	8.12c	5.36bc	2.25b	4.27c	0.711c	0.178bc
	250	93.33bc	90.83c	8.05cd	5.35c	2.25b	4.30c	0.710cd	0.177c
5	50	96.67a	93.33a	8.32b	5.42a	2.29a	4.40b	0.736a	0.184a
	100	95.00ab	92.50b	8.44b	5.40b	2.29a	4.33bc	0.729ab	0.182a
	150	95.83a	90.83c	8.49b	5.36bc	2.25b	4.30c	0.725b	0.181ab
	200	94.17b	91.67b	8.23c	5.34c	2.26ab	4.37b	0.721b	0.180b
	250	93.33bc	90.83c	8.09cd	5.34c	2.25b	4.30c	0.719bc	0.180b

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

滇青冈地上部被淋溶的先后次序对水稻幼苗根长的影响也有同样的趋势，从第 1 次淋溶到第 2 次淋溶抑制效应增强，化感效应指数达到了 $-0.036$ ，显示出明显的抑制作用，而从第 2 次淋溶到第 3 次、第 4 次、第 5 次淋溶，抑制效应减弱(表 1 和表 2)。而其对水稻幼苗苗高(地上部分)的影响也呈现出相似的变化轨迹，即从第 1 次淋溶到第 2 次淋溶抑制效应增强，化感效应指数达到了 $-0.050$ ，表现出明显的抑制作用(表 1 和表 2)，从第 2 次淋溶到第 3 次、第 4 次、第 5 次淋溶，抑制效应减弱(表 1 和表 2)。其对水稻幼苗根数目的影响也有同样的现象，第 2 次淋溶抑制效应最强，化感效应指数达到了 $-0.071$ ，表现出明显的抑制作用(表 1 和表 2)。其对水稻幼苗鲜重和干重的影响总体上看也都出现了同样的趋势，第 2 次淋溶抑制效应最明显，水稻幼苗鲜重化感效应指数达到了 $-0.068$ ，水稻幼苗干重化感效应指数达到了 $-0.064$ ，都表现出了明显的抑制作用(表 1 和表 2)。

但从每次被淋溶的滇青冈叶片数目及其化感效应指数变化的情况来看，无论是第 1 次淋溶、第 2 次淋溶，还是第 3 次淋溶、第 4 次淋溶和第 5 次淋溶中，除了个别现象外，总体上看，虽然都呈现出随着被淋溶叶片数目的增加(即从 50 片到 250 片)，其对水稻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)的抑制作用都增强的趋势(除个别结果外，50 片与 250 片之间都有显著差异)，但每次被淋溶的不同叶片数目之间(从 50 片、100 片、150 片、200 片到 250 片)的差异并不都是显

**Table 2.** Effects of overground part eluviation substances of *C. glaucooides* on RI of seed germination and seedling growth of *O. sativa***表 2.** 滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的化感效应指数的影响

淋溶次序(次) EO	叶片数目 (片) LN	发芽率(%) RI Germination rate	发芽势(%) RI Germination capacity	发芽指数 RI Germination index	根长(cm) RI Root length	苗高(cm) RI Seedling height	根数目 (根·株 <sup>-1</sup> ) RI Root number	幼苗鲜重 (g·株 <sup>-1</sup> ) RI Fresh weight of seedling	幼苗干重 (g·株 <sup>-1</sup> ) RI Dry weight of seedling
CK	0	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a	0.000a
1	50	-0.027c	-0.018b	-0.049c	-0.009b	-0.018d	-0.054e	-0.035d	-0.028c
	100	-0.037d	-0.037d	-0.093h	-0.013c	-0.031f	-0.030b	-0.037d	-0.028c
	150	-0.055f	-0.066f	-0.136l	-0.015c	-0.027e	-0.023b	-0.038d	-0.034d
	200	-0.064g	-0.066f	-0.130l	-0.021d	-0.027e	-0.054e	-0.042e	-0.028c
	250	-0.074h	-0.076g	-0.122k	-0.028e	-0.018d	-0.054e	-0.047e	-0.040e
2	50	-0.036d	-0.038d	-0.069e	-0.007b	-0.022d	-0.054e	-0.048e	-0.040e
	100	-0.055f	-0.076g	-0.108i	-0.017c	-0.022d	-0.047d	-0.037d	-0.034d
	150	-0.064g	-0.066f	-0.138l	-0.026e	-0.031f	-0.054e	-0.048e	-0.040e
	200	-0.074h	-0.097i	-0.167m	-0.030f	-0.045h	-0.047d	-0.050f	-0.046e
	250	-0.105i	-0.119j	-0.194n	-0.036g	-0.050i	-0.071f	-0.068g	-0.064f
3	50	-0.018b	-0.027c	-0.045c	-0.002a	-0.013c	-0.030b	-0.035d	-0.028c
	100	-0.027c	-0.056e	-0.082g	-0.009b	-0.022d	-0.039c	-0.034d	-0.028c
	150	-0.036d	-0.056e	-0.084g	-0.011b	-0.018d	-0.030b	-0.042e	-0.040e
	200	-0.045e	-0.076g	-0.114j	-0.011b	-0.027e	-0.030b	-0.047e	-0.040e
	250	-0.055f	-0.087h	-0.117j	-0.026e	-0.041g	-0.030b	-0.050f	-0.046e
4	50	-0.009a	-0.027c	-0.072f	-0.006a	-0.009b	-0.023b	-0.024c	-0.017b
	100	-0.018b	-0.018b	-0.056d	-0.009b	-0.013c	-0.030b	-0.029c	-0.022c
	150	-0.027c	-0.037d	-0.060e	-0.013c	-0.009b	-0.047d	-0.031d	-0.028c
	200	-0.027c	-0.056e	-0.084g	-0.017c	-0.022d	-0.054e	-0.035d	-0.028c
	250	-0.036d	-0.037d	-0.093h	-0.019d	-0.022d	-0.047d	-0.037d	-0.034d
5	50	0.000a	-0.009a	-0.058d	-0.006a	-0.004a	-0.023b	0.000a	0.005a
	100	-0.018b	-0.018b	-0.043c	-0.009b	-0.004a	-0.039c	-0.010b	-0.005a
	150	-0.009a	-0.037d	-0.037b	-0.017c	-0.022d	-0.047d	-0.015b	-0.011b
	200	-0.027c	-0.027c	-0.069e	-0.021d	-0.018d	-0.030b	-0.021c	-0.017b
	250	-0.036d	-0.037d	-0.088g	-0.021d	-0.022d	-0.047d	-0.024c	-0.017b

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

著差异，在这个被淋溶的叶片范围内，其对水稻种子的发芽率、发芽势、发芽指数、水稻幼苗根长、苗高和幼苗根数没有明显的、规律性的影响(表 1 和表 2)。

### 3.2. 滇青冈地上部淋溶物对水稻幼苗叶绿素含量的影响

与滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的影响一样，滇青冈地上部淋溶物对水稻幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量的影响，除叶绿素 b 含量的个别现象外，基本上都呈现出“抑制”的现象，滇青冈地上部被淋溶的先后次序和每次被淋溶的滇青冈叶片数目对水稻幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量都有抑制作用，与对照相比，除叶绿素 b 含量的个别结果外，都有显著差异(表 3 和表 4)。

以滇青冈地上部被淋溶的先后次序及其化感效应指数变化的情况来看，虽然从第 1 次淋溶到第 5 次淋溶的淋溶物都抑制了水稻幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量，但第 1 次、第 2 次淋溶对水稻幼苗叶绿素 a、b 和总叶绿素含量的负面影响更大，与滇青冈地上部淋溶物对水稻种子萌发率及其幼苗生长的影响一样，还是第 2 次淋溶的抑制效应最明显(除叶绿素 b 含量的个别结果外)，与对照相比，水稻幼苗叶绿素 a 的含量最多下降了 22.23%，化感效应指数为-0.286，表现出非常强烈的抑制作用；水稻幼苗叶绿素 b 的含量与对照相比，最多下降了 7.41%，化感效应指数为-0.080，表现出明显的抑制作用；水稻幼苗总叶绿

**Table 3.** Effects of overground part eluviation substances of *C. glaucooides* on seedling content of chlorophyll of *O. sativa*  
**表 3.** 滇青冈地上部淋溶物对水稻幼苗叶绿素含量的影响

淋溶次序(次) EO	叶片数目(片) LN	叶绿素 a 含量(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of chlorophyll a	叶绿素 b 含量(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of chlorophyll b	叶绿素含量(mg·g <sup>-1</sup> ) Content of chlorophyll
CK	0	0.7287a	0.2200a	0.9487a
1	50	0.7023b	0.2076c	0.9099b
	100	0.6807d	0.2063c	0.8870d
	150	0.6627e	0.2017d	0.8644e
	200	0.6250h	0.2087c	0.8337g
	250	0.5913j	0.2107b	0.8020i
2	50	0.6890c	0.2060c	0.8950c
	100	0.6673e	0.2017d	0.8690e
	150	0.6383g	0.2137b	0.8520f
	200	0.6020i	0.2167a	0.8187h
	250	0.5667k	0.2037d	0.7704j
3	50	0.7017b	0.2077c	0.9094b
	100	0.6900c	0.2057c	0.8957c
	150	0.6773d	0.2073c	0.8807d
	200	0.6397g	0.2167a	0.8564f
	250	0.6193h	0.2100b	0.8293g
4	50	0.7053b	0.2080c	0.9133b
	100	0.6993b	0.2073c	0.9066b
	150	0.6877c	0.2043d	0.8920c
	200	0.6563f	0.2123b	0.8686e
	250	0.6263h	0.2097c	0.8360g
5	50	0.7100b	0.2063c	0.9163b
	100	0.7033b	0.2107b	0.9140b
	150	0.6907c	0.2043d	0.8950c
	200	0.6753d	0.2127b	0.8880d
	250	0.6557f	0.2160a	0.8717e

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

素的含量与对照相比，最多下降了 18.79%，化感效应指数为-0.231，也表现出了非常强的抑制作用。总体上呈现出的一个现象是，从第 1 次淋溶到第 2 次淋溶抑制效应增强，从第 2 次淋溶到第 3 次淋溶、第 4 次淋溶、第 5 次淋溶抑制效应逐渐减弱(表 3 和表 4)。

但从每次被淋溶的滇青冈叶片数目及其化感效应指数变化的情况来看，无论是第 1 次淋溶、第 2 次淋溶，还是第 3 次淋溶、第 4 次淋溶和第 5 次淋溶中，对叶绿素 a 含量和总叶绿素含量的影响，除第 4 次淋溶的 50 片和 100 片之间以及第 5 次淋溶的 50 片和 100 片之间没有显著差异外，每次淋溶的不同叶片数目之间的结果都有显著差异，而且呈现出每次淋溶中随着叶片数目的增加，抑制效应不断增强的现象；但明显可见的是对叶绿素 b 含量的影响就没有什么规律可言了(表 3 和表 4)。

#### 4. 讨论与结论

综上所述，与对照相比，滇青冈地上部淋溶的次序和每次被淋溶的滇青冈叶片数目对水稻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)都呈现出了抑制作用(表 1~4)，这样的结果与对一般植物化感作用研究结果相似[25] [26] [27] [28] [29]，证明滇青冈地上部淋溶物化感作用是客观存在的，说明滇青冈通过地上部的淋溶作用，释放其地上部的化感物质是滇青冈释放其化感物质的一个途径。

滇青冈地上部淋溶的次序，对水稻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

**Table 4.** Effects of overground part eluviation substances of *C. glaucooides* on RI of seedling content of chlorophyll of *O. sativa***表 4.** 滇青冈地上部淋溶物对水稻幼苗叶绿素含量的化感效应指数的影响

淋溶次序(次) EO	叶片数目(片) LN	叶绿素 a 含量(mg·g <sup>-1</sup> ) RI Content of chlorophyll a	叶绿素 b 含量(mg·g <sup>-1</sup> ) RI Content of chlorophyll b	叶绿素含量(mg·g <sup>-1</sup> ) RI Content of chlorophyll
CK	0	0.000a	0.000a	0.000a
	50	-0.038c	-0.060e	-0.043b
	100	-0.071e	-0.066f	-0.070d
	150	-0.100f	-0.091h	-0.098e
	200	-0.166i	-0.054e	-0.138g
1	250	-0.232l	-0.044d	-0.183i
	50	-0.058d	-0.068f	-0.060c
	100	-0.092f	-0.091h	-0.092e
	150	-0.142h	-0.029c	-0.113f
	200	-0.210k	-0.015b	-0.159h
2	250	-0.286m	-0.080g	-0.231j
	50	-0.038c	-0.060e	-0.043b
	100	-0.056d	-0.070f	-0.059c
	150	-0.076e	-0.061e	-0.077d
	200	-0.139h	-0.015b	-0.108f
3	250	-0.177j	-0.048d	-0.144g
	50	-0.033c	-0.058e	-0.039b
	100	-0.042c	-0.061e	-0.046b
	150	-0.060d	-0.077g	-0.064c
	200	-0.110g	-0.036c	-0.092e
4	250	-0.163i	-0.049d	-0.135g
	50	-0.026b	-0.066f	-0.034b
	100	-0.036c	-0.044d	-0.038b
	150	-0.055d	-0.077g	-0.060c
	200	-0.079e	-0.034c	-0.068c
5	250	-0.111g	-0.019b	-0.088e

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

标的化感抑制作用，呈现出了从第 1 次淋溶到第 2 次淋溶抑制效应增强，从第 2 次淋溶到第 3 次淋溶、第 4 次淋溶、第 5 次淋溶，抑制效应减弱的现象(表 1~4)；但无论在哪一次淋溶中，从 50 片、100 片、150 片、200 片到 250 片的被淋溶的叶片数目的变化对水稻种子的萌发率和幼苗生长的部分指标都没有明显的影响(表 1 和表 2)，但对其幼苗叶片中叶绿素 a 含量和总叶绿素含量的影响，却呈现出每次淋溶中随着叶片数目的增加，抑制效应不断增强的现象(个别现象除外)，然而对叶绿素 b 含量的影响就没有什么规律了(表 3 和表 4)。

对叶绿素含量抑制效应的增强，必然从根本上抑制水稻幼苗的生长及其抗逆性[30]-[38]，导致其幼苗生长的部分指标呈现出下降的趋势。

研究结果对人们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，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。

## 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.
- [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(第二版)[M]. 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. scallii*). *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：2169-2432，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：[wjf@hanspub.org](mailto:wjf@hanspub.org)