

艾明君, 尚禹函, 赵婉钰, 等. 入侵植物三裂叶豚草化感作用的研究 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (10): 1326–1334.

AI M J, SHANG Y H, ZHAO W Y, et al. Allelopathy of Invasive *Ambrosia trifida* L. [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (10): 1326–1334.

入侵植物三裂叶豚草化感作用的研究

艾明君, 尚禹函, 赵婉钰, 宋 凯, 刘婷钰, 唐文静, 莫金钢*

(长春师范大学生命科学学院, 吉林 长春 130032)

摘 要:【目的】分析三裂叶豚草 (*Ambrosia trifida* L.) 茎叶水浸提液的遗传毒性, 及其对白菜 (*Brassica chinensis* L.)、油菜 (*Brassica napus* L.) 种子萌发及幼苗生长的影响, 探讨三裂叶豚草潜在的化感效应。【方法】采用发芽盒滤纸法, 以蒸馏水为对照, 分析不同质量浓度 (0.025、0.050、0.075、0.100 g·mL⁻¹) 三裂叶豚草水浸提液处理下白菜和油菜种子萌发、幼苗生长相关指标的变化; 通过蚕豆根尖微核试验探讨三裂叶豚草水浸提液的遗传毒性。

【结果】不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜的种子萌发主要表现为化感抑制作用; 对白菜和油菜幼苗的主根长表现出“低促高抑”的浓度效应, 在 0.025 g·mL⁻¹ 质量浓度下促进作用最强, 在 0.100 g·mL⁻¹ 质量浓度下抑制作用最强, 对白菜和油菜幼苗的株高和植株鲜重则呈现出促进作用; 在光合色素含量方面, 白菜和油菜幼苗叶片的光合色素含量随三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加, 整体呈现出升高的趋势。蚕豆根尖微核试验结果表明, 经三裂叶豚草水浸提液处理后, 蚕豆根尖细胞出现多种染色体畸变, 如微核、染色体桥、染色体滞后等现象。

【结论】三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜的生长发育具有一定的化感作用, 且白菜对三裂叶豚草水浸提液化感作用的响应强于油菜。不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞的遗传物质均具有一定的遗传损伤效应。

关键词: 三裂叶豚草; 化感作用; 种子萌发; 幼苗生长; 光合色素; 遗传毒性

中图分类号: S 451.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 10-1326-09

Allelopathy of Invasive *Ambrosia trifida* L.

AI Mingjun, SHANG Yuhuan, ZHAO Wanyu, SONG Kai, LIU Tingyu, TANG Wenjing, MO Jingang*

(School of Life Sciences, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032, China)

Abstract: 【Objective】Allelopathic effect of *Ambrosia trifida* on vegetables was studied by an *in vitro* experimentation.

【Method】Genotoxicity and effects of the aqueous extracts of *A. trifida* stems and leaves on the seed germination and seedling growth of cabbage (*Brassica chinensis* L.) and rape (*Brassica napus* L.) were determined. Seed germination and seedling growth were conducted using the box filter paper method under the mass concentrations of *A. trifida* extracts at 0.025, 0.050, 0.075, and 0.100 g·mL⁻¹, along with distilled water as control. Genotoxicity of the extracts was compared according to the root tip micronucleus assay on broad beans. 【Result】The germination of the cabbage and rape seeds were inhibited by the presence of the extract which was mainly displayed by the alternation in allelopathy. The length of main cabbage and rape seedling roots was promoted by the extract at low concentrations and inhibited at high concentrations. The strongest enhancing effect was shown at 0.025 g·mL⁻¹, while the greatest inhibition occurred at 0.100 g·mL⁻¹. On the other hand, the plant height and fresh weight of the cabbage and rape seedlings increased with the increasing extract concentration. The photosynthetic pigment in the cabbage and rape seedling leaves increased with increasing extract as well. The micronucleus experiments on broad beans showed a variety of chromosomal aberrations, such as micronuclei, chromosomal bridges, and chromosomal lagging, on the bean root tip cells after treatment. 【Conclusion】The aqueous extract of *A. trifida* tissues exhibited allelopathic effects on the growth and development of cabbage and rape seedlings with the cabbage responded more strongly

收稿日期: 2022-06-02 初稿; 2022-06-27 修改稿

作者简介: 艾明君 (1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物化感作用机制研究 (E-mail: aimingjun789@163.com)

* 通信作者: 莫金钢 (1979-), 男, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事植物化感作用机制研究 (E-mail: mojingang@ccsfu.edu.cn)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31870486); 吉林省自然科学基金联合基金项目 (YDZJ202101ZYTS092)

than the rape. The micronucleus of broad bean root tips under the extract treatments showed a significant damaging effect on the genetic materials.

Key words: *Ambrosia trifida*; allelopathy; seed germination; seedling growth; photosynthetic pigment; genotoxicity

0 引言

【研究意义】植物的化感作用 (Allelopathy) 是指植物通过地上部淋溶、根系分泌以及残体分解等途径向环境中释放化感物质, 对自身和周围其他植物产生直接或间接的、有利或有害的作用^[1], 它是植物在长期进化的过程中形成的一种适应机制^[2], 在植物群落建成和演替的过程中发挥着不可替代的作用。目前, 生物入侵现象十分普遍, 当外来植物入侵后, 一方面, 直接与本地植物争夺资源, 另一方面, 通过释放化感物质对入侵生境的本地种进行抑制、排挤和毒杀, 从而获得丰富的生存资源, 在与入侵地物种的生长竞争中取胜^[3], 可见, 化感作用是导致外来植物入侵成功的重要因素之一。三裂叶豚草 (*Ambrosia trifida* L.) 又名大破布草, 隶属菊科 (Compositae) 豚草属 (*Ambrosia*), 为一年生草本植物, 原产于北美洲, 大约在 20 世纪三四十年代, 经种子传播及人类活动等途径传入我国, 因其具有生命活力强, 适应性广, 繁殖系数大等特性, 使得三裂叶豚草容易在入侵地形成单一优势种, 降低当地自然生态系统的生物多样性, 现已成为我国北方地区最主要的恶性杂草之一^[4-6], 严重威胁着农业生产和自然植被, 因此, 研究三裂叶豚草的化感作用对揭示其对农业生产的危害机制具有重要的理论价值与实际意义。【前人研究进展】研究发现, 三裂叶豚草耗水量和营养物质高, 可与其他植物竞争光、水和营养元素^[7], 保持自身在空间和资源竞争中的优势。同时三裂叶豚草主要通过雨水淋溶茎叶向周围环境释放化感物质的方式, 抑制玉米、大豆、小麦、水稻等农作物的种子萌发^[8], 还可以影响玉米、大豆和向日葵的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 等抗氧化酶活性^[9]。进一步研究表明, 三裂叶豚草不仅可降低入侵地内原有物种的生态位宽度, 还会提高本地植物间生态位重叠系数, 干扰植物对资源的利用, 导致植物间的竞争增强^[10]。此外, 三裂叶豚草还影响昆虫及根际周围土壤中微生物的生长发育^[11]。【本研究切入点】植物通过释放化感物质实现化感作用, 目前研究三裂叶豚草的化感作用主要集中在农作物上, 关于其危害蔬菜的机制尚鲜有文献报道。同时, 蚕豆根尖细胞微核技术广泛应用于化学诱变、环境监测、辐射损伤及多种

化学品风险评价等领域, 但用于检测入侵植物化感作用的报道尚较少。【拟解决的关键问题】植物茎叶以及残体分解后产生的化感物质经雨雾淋溶释放至土壤中, 本研究以三裂叶豚草茎叶为材料, 通过水浸提的方法模拟植物经雨雾淋溶释放化感物质的途径, 测定不同质量浓度 (0.025、0.050、0.075、0.100 g·mL⁻¹) 三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜种子萌发、幼苗生长、光合色素含量的影响及其对蚕豆根尖细胞的遗传毒性, 以期为进一步研究三裂叶豚草的化感作用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物三裂叶豚草, 采于长春师范大学东侧沟渠旁。受试植物四季小白菜, 山东昌邑蔬菜良种繁育基地; 苏州青油菜, 长春市馨蕾种业有限公司; 青皮蚕豆, 购于长春市二道区八里堡市场。

1.2 试验方法

1.2.1 三裂叶豚草水浸提液的制备 于三裂叶豚草成熟期进行采样, 选取发育较好的三裂叶豚草植株, 取其地上部分, 带回实验室置于通风处阴干。将阴干后的三裂叶豚草茎叶粉碎, 按 $m:V=1:10$ 的比例置于烧杯中用蒸馏水浸泡, 在室温下放置 48 h, 期间多次搅拌。浸提结束后, 用 4 层无菌纱布将溶液滤出以去除植物残渣, 真空抽滤, 得到质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 的三裂叶豚草水浸提液母液。再将母液稀释为 0.025、0.050、0.075、0.100 g·mL⁻¹ 4 个质量浓度, 分别装入棕色试剂瓶中, 于 4 ℃ 冰箱保存备用。

1.2.2 种子萌发试验 种子萌发采用发芽盒滤纸法。挑选大小均一、饱满无虫害的白菜、油菜种子, 用 0.5% KMnO₄ 浸泡灭菌 30 min, 无菌水冲洗 3 次, 随后将种子播种于铺有滤纸的发芽盒中, 每盒放置种子 50 粒, 分别加入不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液 5 mL (使用前先将水浸提液于室温下放置 30 min, 避免因温度骤降对实验结果造成影响), 以同等体积的蒸馏水处理作为对照, 每个处理组重复 4 次, 在变温光照人工气候箱 (25 ℃, 16 h; 15 ℃, 8 h) 中进行培养。之后每天适当补充水浸提液和蒸馏水, 以保持发芽盒中水浸提液质量浓度及水分状况恒定。前 3 d 每 12 h 统计种子萌发数, 之后每

24 h 统计种子萌发数,直到连续 3 d 不再有新种子萌发为止,计算发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等指标^[12]。

1.2.3 幼苗生长试验 待种子萌发试验结束后,分别从每个发芽盒中挑选 7 株长势均一的幼苗,测定其根长、苗高、苗鲜重。

1.2.4 光合色素含量测定 待种子萌发试验结束后,从每个发芽盒中分别选取约 0.2 g 幼苗叶片,采用丙酮比色法^[13]进行光合色素含量测定。

1.2.5 蚕豆根尖细胞微核试验 参见 Kanaya 等^[14]的方法并进行适当改良。用蒸馏水浸种催芽,当胚根长到 1.5 cm 时,分别加入质量浓度为 0.025、0.050、0.075、0.100 g·mL⁻¹ 的三裂叶豚草水浸提液,以蒸馏水作对照,处理 24 h,每个处理重复 4 次。恢复培养 24 h 后用卡诺固定液固定,换 70% 乙醇溶液于 4 ℃ 冰箱中保存。6 mol·L⁻¹ 的 HCl 溶液室温酸解,

卡宝染液进行染色,每个处理镜检 4 个根尖,每个根尖观察不少于 1 000 个细胞,统计其中具有微核的细胞数。计算平均微核率 (MCN‰)、有丝分裂指数、染色体畸变率。

1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 统计分析软件进行数据统计分析,Microsoft Excel 2010 软件对数据进行处理和作图。

2 结果与分析

2.1 三裂叶豚草水浸提液对种子萌发的影响

2.1.1 三裂叶豚草水浸提液对白菜种子萌发的影响 由表 1 可知,三裂叶豚草水浸提液处理下白菜种子发芽率、发芽势和发芽指数均低于对照组,且随着水浸提液质量浓度的增加,其抑制作用呈增强趋势;白菜种子活力指数则随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加呈先升高后下降的趋势。

表 1 三裂叶豚草水浸提液对白菜种子萌发的影响
Table 1 Effect of aqueous extracts of *A. trifida* on germination of cabbage seeds

质量浓度 Mass concentration/ (g·mL ⁻¹)	发芽率 Germination rate/ %	发芽势 Germination potential/ %	发芽指数 Germination index	活力指数 Seed vigor index
0	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	44.00±1.04 a	1.05±0.27 c
0.025	100.00±0.00 a	98.50±0.50 a	33.45±1.49 b	2.25±0.25 a
0.050	98.50±0.50 a	92.50±2.22 a	23.94±0.63 c	1.62±0.13 b
0.075	94.00±1.15 a	59.00±7.05 b	15.68±0.69 d	0.65±0.04 d
0.100	63.00±4.80 b	20.00±3.37 c	8.40±0.23 e	0.63±0.06 d

表中数据为平均值±标准误 (n=4); 字母排列相同表示差异性不显著 (P>0.05); 字母不同表示具有显著性差异 (P<0.05), 表2~4同。
The data in the table are the mean ± standard error (n=4); The same arrangement of letters indicates that the difference is not significant (P>0.05); the different letters indicate a significant difference (P<0.05).The same as Table 2- 4.

表 1 显示,在不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液处理下,白菜种子的发芽指数均显著低于对照组 (P<0.05);而白菜种子发芽率仅在三裂叶豚草水浸提液质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时,显著低于对照组 (P<0.05);白菜种子发芽势则在水浸提液质量浓度达到 0.075 g·mL⁻¹ 时,才显著低于对照组 (P<0.05)。就活力指数而言,不同质量浓度处理下白菜种子活力指数均与对照组呈现显著差异 (P< 0.05),当水浸提液质量浓度为 0.025 g·mL⁻¹ 时,活力指数最大,当水浸提液质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时,活力指数最小。

值得注意的是,三裂叶豚草水浸提液质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时,对白菜种子萌发的抑制作用最强。与对照组相比,白菜种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数分别降低了 37.0%, 80.0%,

80.9% 和 40.0%,降幅最大且差异显著 (P<0.05)。

2.1.2 三裂叶豚草水浸提液对油菜种子萌发的影响 由表 2 可知,随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加,油菜种子发芽率、发芽势呈先下降后升高再下降的趋势;油菜种子活力指数呈先升高后降低的趋势;而油菜种子发芽指数随水浸提液质量浓度的增加呈下降趋势,并具有浓度效应。

在 0.025~0.100 g·mL⁻¹ 范围内,各处理组的油菜种子发芽率与对照组相比均未达到显著差异水平 (P>0.05);而油菜种子的活力指数则在质量浓度达到 0.075 g·mL⁻¹ 时,与对照组相比具有显著差异 (P<0.05);此外,就发芽势和发芽指数而言,不同处理组的油菜种子发芽势和发芽指数均低于对照组,其中,各处理组的油菜种子发芽指数与对照组相比均具有显著差异 (P<0.05),而油菜种子发芽

表 2 三裂叶豚草水浸液对油菜种子萌发的影响
Table 2 Effect of aqueous extracts of *A. trifida* on germination of rape seeds

质量浓度 Mass concentration/ (g·mL ⁻¹)	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Seed vigor index
0	94.67±2.40 a	92.67±2.40 a	43.44±1.52 a	0.87±0.07 ab
0.025	91.33±0.67 a	86.00±2.31 a	34.76±1.08 b	1.06±0.10 a
0.050	96.00±1.15 a	92.00±2.31 a	26.73±1.10 c	0.84±0.08 ab
0.075	96.00±0.00 a	87.33±4.06 a	24.31±0.30 c	0.71±0.07 b
0.100	90.00±4.00 a	60.67±7.42 b	20.06±1.20 d	0.40±0.09 c

势仅在质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时与对照组呈显著差异 ($P<0.05$)。

当三裂叶豚草水浸提液质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时，其化感作用对油菜种子萌发的抑制作用最强。与对照组相比，油菜种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数降幅最大，分别降低了 4.9%，34.5%，53.8% 和 54.0%。

2.2 三裂叶豚草水浸提液对幼苗生长的影响

由表 3 可知，不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜幼苗生长均有化感效应。随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加，白菜幼苗的主根长呈现先升高再下降的趋势，而不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对株高和植株鲜重则表现为促进作用。

表 3 三裂叶豚草水浸液对白菜和油菜幼苗生长的影响
Table 3 Effects of aqueous extracts of *A. trifida* on growth of cabbage and rape seedlings

质量浓度 Mass concentration/ (g·mL ⁻¹)	白菜 cabbage			油菜 rape		
	主根长 Primary root length/cm	株高 Seedling heigh/cm	植株鲜重 Fresh weigh of plant/g	主根长 Primary root length/cm	株高 Seedling heigh/cm	植株鲜重 Fresh weigh of plant/g
0	3.50±0.18 b	0.91±0.03 c	0.02±0.001 c	3.67±0.21 a	1.11±0.024 b	0.02±0.001 b
0.025	4.97±0.25 a	3.01±0.09 a	0.07±0.003 a	4.05±0.26 a	2.46±0.049 a	0.03±0.001 a
0.050	3.65±0.15 b	3.00±0.11 a	0.07±0.002 a	2.67±0.11 b	2.45±0.049 a	0.03±0.003 a
0.075	1.58±0.13 c	2.18±0.07 b	0.04±0.002 b	1.49±0.10 c	2.45±0.575 a	0.03±0.002 a
0.100	—	—	—	0.68±0.04 d	1.82±0.065 b	0.02±0.001 b

“—”为水浸提液质量浓度较高，幼苗生长量较小而无法正常进行测量。
"—" means that the mass concentration of water extract is high and the seedling growth is small, so it can not be measured normally.

当水浸提液质量浓度为 0.025 g·mL⁻¹ 时，白菜幼苗的主根长、株高和植株鲜重均达到最大值，升幅分别为 42%，230.8% 和 250.0%，均显著高于对照组 ($P<0.05$)；当水浸提液质量浓度为 0.075 g·mL⁻¹ 时，白菜幼苗的主根长达到最小值，较对照组下降 54.6%，且达到显著差异水平 ($P<0.05$)。

就油菜幼苗而言，随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加，其主根长呈现“低促高抑”的双重效应，而不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对油菜株高和植株鲜重均起到促进作用。

当水浸提液质量浓度为 0.025 g·mL⁻¹ 时，油菜幼苗的主根长达到最大值，升幅为 10.35%，但与对照组间差异不显著 ($P>0.05$)，当质量浓度大于 0.050 g·mL⁻¹ 时，主根长随质量浓度增加呈下降趋势，当

质量浓度为 0.100 g·mL⁻¹ 时，主根长最小，降幅为 81.5%，显著低于对照组且处理间差异显著 ($P<0.05$)；当水浸提液质量浓度为 0.025 g·mL⁻¹ 时，株高和植株鲜重均达到最大值，较对照组分别升高了 121.6% 和 5.0%，且与对照组相比均达到显著差异水平 ($P<0.05$)。

2.3 三裂叶豚草水浸提液对幼苗叶片光合色素含量的影响

三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜幼苗叶片光合色素含量的影响由表 4 所示。各质量浓度的三裂叶豚草水浸提液处理均能提高白菜幼苗叶片叶绿素 a 的含量，且在质量浓度为 0.075 g·mL⁻¹ 和 0.100 g·mL⁻¹ 时，与对照组差异显著 ($P<0.05$)；白菜幼苗叶片叶绿素 b 含量则随着水浸提液质量浓度的增加呈现

先下降再升高的趋势，但各处理组与对照组差异不显著 ($P>0.05$)；白菜幼苗叶片总叶绿素含量则随着水浸提液质量浓度的增加呈先升高在下降再升高的趋势，同样在质量浓度为 $0.075\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 0.100

$\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，与对照组差异显著 ($P<0.05$)。此外，在 $0.075\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 质量浓度处理下，白菜幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均达到最大值，升幅分别为 148%，45.5% 和 116.7%。

表 4 三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜幼苗叶片光合色素含量的影响
Table 4 Effect of aqueous extracts of *A. trifida* on photosynthetic pigment in leaves of cabbage and rape seedlings

质量浓度 Mass concentration/ ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	白菜 Cabbage			油菜 Rape		
	叶绿素a Chlorophyll a/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素b Chlorophyll b/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	总叶绿素 Total chlorophyll/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素a Chlorophyll a/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素b Chlorophyll b/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	总叶绿素 Total chlorophyll/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
0	$0.25\pm0.05\text{ c}$	$0.11\pm0.03\text{ ab}$	$0.36\pm0.08\text{ b}$	$0.43\pm0.09\text{ a}$	$0.04\pm0.03\text{ ab}$	$0.33\pm0.11\text{ ab}$
0.025	$0.39\pm0.06\text{ bc}$	$0.07\pm0.02\text{ b}$	$0.45\pm0.07\text{ b}$	$0.62\pm0.09\text{ a}$	$0.12\pm0.03\text{ a}$	$0.55\pm0.10\text{ a}$
0.050	$0.32\pm0.03\text{ c}$	$0.04\pm0.01\text{ b}$	$0.35\pm0.03\text{ b}$	$0.67\pm0.23\text{ a}$	$0.10\pm0.06\text{ a}$	$0.58\pm0.22\text{ a}$
0.075	$0.62\pm0.06\text{ a}$	$0.16\pm0.03\text{ a}$	$0.78\pm0.09\text{ a}$	$0.61\pm0.19\text{ a}$	$0.10\pm0.04\text{ a}$	$0.53\pm0.17\text{ a}$
0.100	$0.54\pm0.06\text{ ab}$	$0.16\pm0.02\text{ a}$	$0.70\pm0.08\text{ a}$	$0.89\pm0.13\text{ a}$	$0.22\pm0.02\text{ a}$	$0.86\pm0.11\text{ a}$

由表 4 可以看出，三裂叶豚草水浸提液各质量浓度处理均能提升油菜幼苗叶片的叶绿素 a，叶绿素 b 和总叶绿素含量，且在水浸提液质量浓度为 $0.100\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，上述含量均达到最大值，但各处理组与对照组间及各处理组间均无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞的化感作用

2.4.1 蚕豆根尖细胞微核和染色体畸变现象 蚕豆细胞染色体数目较少 ($2n=12$) 且体积较大，是细胞遗传学研究常用的材料之一，又因为其根尖分生区细胞分裂旺盛，因此染色体的形态和数目的变化很容易被观察。图 1 显示了三裂叶豚草水浸提液处理下蚕豆根尖细胞有丝分裂异常图。

由图 1 可知，三裂叶豚草水浸提液可诱发蚕豆根尖细胞产生畸变染色体。在光学显微镜下可观察到蚕豆根尖细胞有丝分裂间期的单微核甚至双微核现象，还有部分非间期的拟微核、有丝分裂失去极性、有丝分裂后期染色体桥、有丝分裂末期细胞染色体滞后等异常现象。说明不同质量浓度的三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞均有一定的遗传毒性。

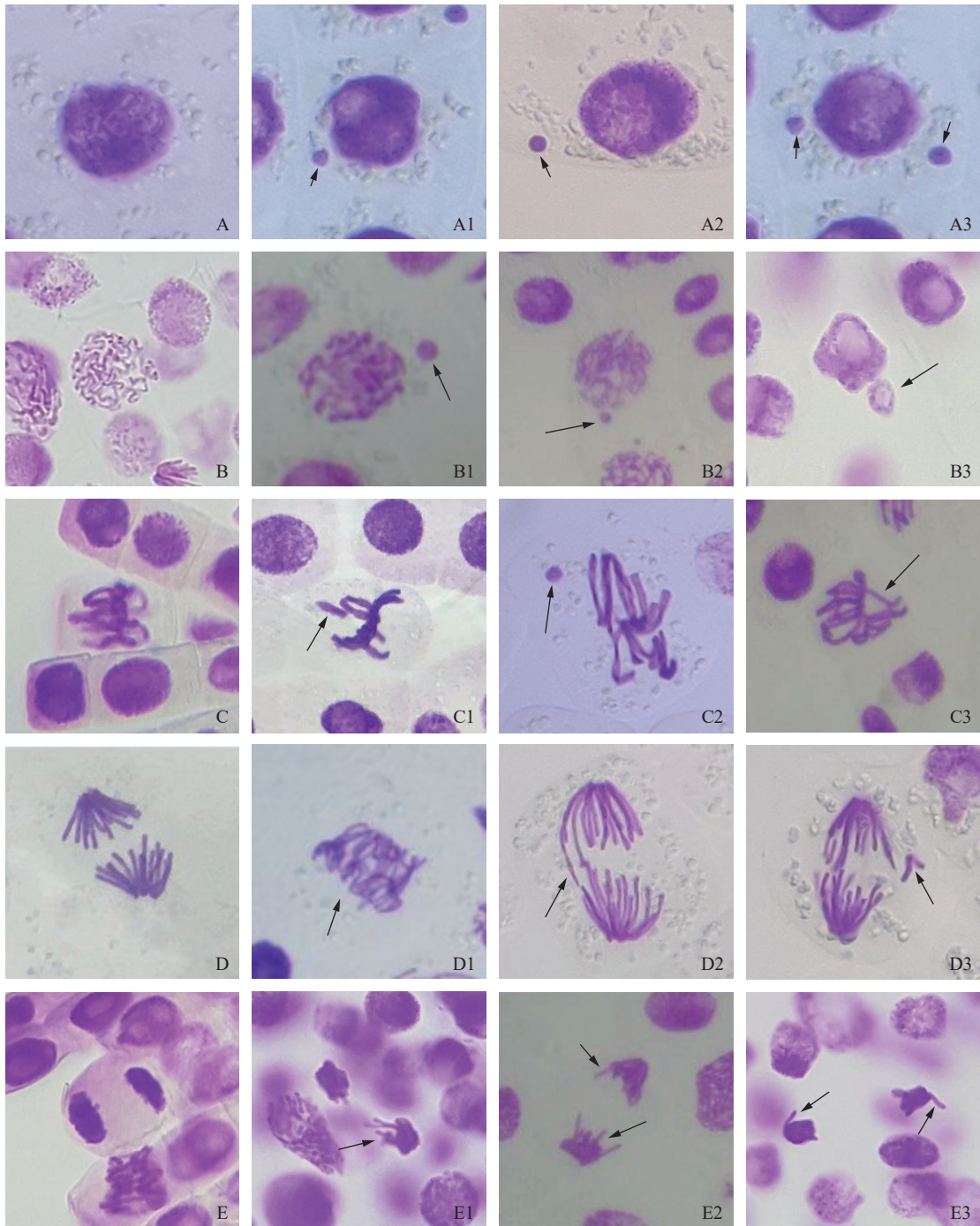
2.4.2 三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞有丝分裂指数的影响 图 2 为三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞有丝分裂行为的影响。由图 2-A 可以看出，随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的增加，蚕豆根尖细胞有丝分裂指数呈先升高后降低的趋势。即低

质量浓度的水浸液促进蚕豆根尖细胞的有丝分裂行为，但当水浸提液质量浓度进一步增加时，细胞有丝分裂行为却受到抑制，且随着三裂叶豚草水浸液质量浓度的升高，细胞有丝分裂受抑制的程度逐渐增强。

当水浸提液质量浓度为 $0.025\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，蚕豆根尖细胞有丝分裂指数达到最大值，较对照组高 1.24%，显著高于对照组及其他处理组 ($P<0.05$)。当水浸提液质量浓度为 $0.100\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，有丝分裂指数达到最小值，较对照组低 1.20%，与对照组及其他处理组具有显著差异 ($P<0.05$)。

2.4.3 三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞微核率的影响 由图 2-B 可以看出，随着三裂叶豚草水浸提液质量浓度的不断增加，蚕豆根尖细胞的微核率呈现先升高后降低的趋势，但各质量浓度处理下的微核率均显著高于对照组 ($P<0.05$)。当三裂叶豚草水浸提液质量浓度为 $0.075\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，蚕豆根尖细胞的微核率达到最大值，较对照组高 21.06%，表明该质量浓度下蚕豆根尖细胞内遗传物质受到的损伤程度最强。

2.4.4 三裂叶豚草水浸提液对蚕豆根尖细胞染色体畸变率的影响 由图 2-C 可知，蚕豆根尖细胞的染色体畸变率随三裂叶豚草水浸提液质量浓度的不断增加呈现逐渐升高的趋势，且各处理组的染色体畸变率均显著高于对照组 ($P<0.05$)。当水浸提液质量浓度为 $0.100\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，蚕豆根尖细胞的染色体畸变率达到最大值，较对照组高 18.62%，与对照组及其



A：正常间期细胞核；A1、A2：间期细胞单微核；A3：间期细胞双微核；B：正常有丝分裂前期细胞核；B1、B2：有丝分裂前期细胞拟微核；B3：间期细胞大小双核；C：正常有丝分裂中期细胞核；C1：有丝分裂中期细胞染色体片段丢失；C2：有丝分裂中期细胞拟微核；C3：有丝分裂中期细胞染色体粘连；D：正常有丝分裂后期细胞核；D1：有丝分裂后期细胞失去极性；D2：有丝分裂后期细胞染色体双桥；D3：有丝分裂后期细胞染色体片段丢失；E：正常有丝分裂末期细胞核；E1、E2：有丝分裂末期细胞染色体滞后；E3：有丝分裂末期细胞染色体丢失。

A: Normal interphase cell nuclei; A1 and A2: Interphase cell single micronucleus; A3: Interphase cells with double micronuclei; B: Normal mitotic prophase cell nuclei; B1 and B2: Mitotic prophase cytomimetic micronuclei; B3: Interphase cell size binucleate; C: Normal mid mitotic cell nucleus; C1: Loss of chromosome fragments in mid mitotic cells; C2: Mid mitotic cytomimetic micronuclei; C3: Chromosome adhesions in mid mitotic cells; D: Nucleus of normal late mitotic cells; D1: Loss of cell polarity in late mitosis; D2: Double bridge of chromosomes in late mitotic cells; D3: Loss of chromosome fragments in late mitotic cells; E: Nucleus at end of normal mitosis; E1 and E2: Chromosomal lag in cells at end of mitosis; E3: Chromosome loss in cells at end of mitosis.

图 1 三裂叶豚草水浸提液处理下蚕豆根尖细胞有丝分裂异常图
Fig. 1 Mitotic abnormalities on root tip cells of broad beans treated by *A. trifida* extracts

他处理组具有显著差异 ($P<0.05$)。并且，此时蚕豆根尖间期细胞的细胞核大多失去原有的圆形而呈

现细长的柳叶形，表明该质量浓度下蚕豆根尖细胞受到的损伤作用非常强。

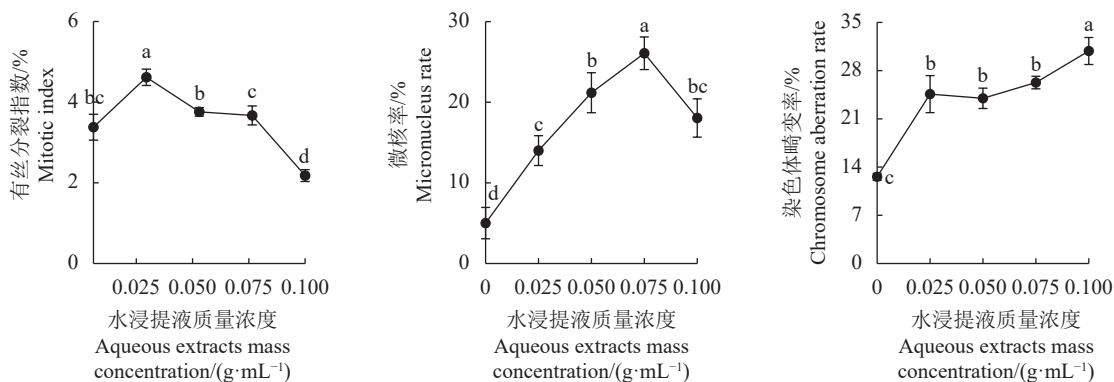


图 2 三裂叶豚草水浸液对蚕豆根尖细胞有丝分裂行为的影响

Fig. 2 Effect of aqueous extracts of *A. trifida* on mitotic behavior of broad bean root tip cells

3 讨论

3.1 三裂叶豚草水浸提液对种子萌发及幼苗生长的化感效应

自然条件下,植物间的化感作用主要体现为影响受试植物的种子萌发和幼苗的生长发育^[15]。种子萌发对植物而言至关重要,种子发芽率降低会导致植物的竞争力减弱,影响植物在自然群落中的多度,进一步影响群落结构,最终造成生态系统退化^[16]。本研究表明,三裂叶豚草水浸提液对白菜种子萌发具有抑制作用,表现为随着水浸提液浓度的增加其抑制作用增强,即具有浓度效应,这与 SARIĆ 等^[17]在研究三裂叶豚草挥发油对茼蒿、西瓜、黄瓜、番茄种子萌发的影响中得出的结论相符。而油菜种子发芽率和发芽势则随着三裂叶豚草水浸提液浓度的增大呈先降低再升高再降低的趋势,总体表现为化感抑制作用。可见水浸提液的浓度以及受试植物的种类都会对植物化感作用产生一定程度上的影响,这与刘雅婧等^[18]在狼毒浸提液对 3 种牧草种子萌发和幼苗生长影响的研究中所得的结论一致。

植物在幼苗阶段从外界吸收营养物质,以供自身的生长和繁殖。三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜幼苗主根长的影响均表现为低浓度促进、高浓度抑制的双重化感效应,表明高质量浓度的三裂叶豚草水浸提液可能阻碍了植物根系对外界营养的吸收,从而抑制受试植物的根长。就植物株高和根鲜重而言,三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜的株高和植株鲜重具有促进作用,当水浸提液质量浓度为 $0.025 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,促进作用最强,此时的主根长、株高和植株鲜重均达到最大值。导致这一结果的原因可能是因为植物根系直接接触浸提液使得其受到的化感抑制时间更长,而植物叶片靠根部运输养分,只有当根系受到的化感胁迫达到一定程度时,株高

才会表现出明显响应^[19,20]。

3.2 三裂叶豚草水浸提液对幼苗叶片光合色素含量的化感效应

叶片不仅是植物体内更新最快、数量最多的器官,还是植物进行光合作用的主要场所。光合作用是植物区别其他有机体的重要特征,是一切生命活动的基础,植物的生长发育均不能脱离光合作用的过程。已有研究指出,化感物质可以通过影响受体植物的色素含量、气孔传导能力等途径影响植物的光合作用^[21]。

叶绿素广泛存在于绿色植物组织中,是一类与植物光合作用有关的重要色素。本研究发现,随着三裂叶豚草水浸液质量浓度的不断增加,白菜幼苗和油菜幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量总体呈升高的趋势。此外,在相同质量浓度的水浸提液处理下,油菜幼苗的光合色素含量变化更为敏感。表明三裂叶豚草水浸提液中的化感物质会对植物幼苗叶片的光合色素含量产生一定影响,且不同受试植物的光合色素含量对三裂叶豚草水浸提液的敏感程度不同,这与 Udo 等^[22]在研究化感作用机理时结论一致。但植物光合作用机制复杂,需要进一步全面的研究论证。

3.3 蚕豆根尖细胞微核技术检测入侵植物三裂叶豚草的化感作用

细胞微核 (MCN) 是真核类细胞的一种异常结构,是染色体畸变在间期细胞的一种表现形式,可由外界胁迫因子对分裂细胞作用而产生^[23]。蚕豆根尖细胞微核技术是一种环境致突变性的检测方法,已经被广泛应用于各种水体污染物的遗传毒性检测^[24]。但利用该技术对入侵植物三裂叶豚草化感作用的检测还较少见报道。

本研究结果表明,有丝分裂指数、微核率、染色体畸变率均与三裂叶豚草水溶性化感物质的质量

浓度存在显著相关性。此外,三裂叶豚草水浸提液不仅能抑制蚕豆根尖细胞有丝分裂和诱发微核的产生,还可以导致染色体畸变率增加,造成不可逆转的遗传损伤效应。说明三裂叶豚草含有的水溶性化感物质对植物遗传物质的稳定性具有一定的影响。值得注意的是,当水浸提液质量浓度为 $0.100\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,蚕豆根尖细胞微核率反而下降,这可能与此质量浓度水浸提液抑制细胞有丝分裂程度最强有关系。可见蚕豆根尖细胞对三裂叶豚草水浸提液中的化感物质反应灵敏,可靠性较高,在今后研究入侵植物化感作用方面具有较广阔的应用前景。

4 结论

研究表明三裂叶豚草水浸提液对白菜和油菜的生长发育具有一定的化感作用,且三裂叶豚草水溶性化感物质对蚕豆根尖细胞的遗传物质具有一定的遗传损伤效应。可见,在三裂叶豚草入侵的过程中,其水溶性化感物质通过淋溶途径进入环境,抑制其他植物的生长发育,可能为其迅速扩散的机制之一。

参考文献:

- [1] 杨玉莲, 刘小丽, 吴丽君, 等. 川中丘陵区柏木(*Cupressus funebris*)土壤浸提液对3种农作物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26 (2): 394–399.
YANG Y L, LIU X L, WU L J, et al. Effects of *Cupressus funebris* rhizospheric soil extracts on seed germination and seedling growth of three crops in hilly area of central Sichuan basin [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2020, 26 (2): 394–399. (in Chinese)
- [2] 陈锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]. 中国生态农业学报, 2017 (1): 36–46.
- [3] 万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
WAN F H, ZHENG X B, GUO J Y. *Biology and management of invasive alien species in agriculture and forestry*[M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [4] 王娟, 吕国忠, 姜华, 等. 外来入侵物种三裂叶豚草的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013 (4): 1533–1536, 1556.
WANG J, LV G Z, JIANG H, et al. Research advance on invasive alien species *Ambrosia trifida* linn [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013 (4): 1533–1536, 1556. (in Chinese)
- [5] 王建军, 赵宝玉, 李明涛, 等. 生态入侵植物豚草及其综合防治[J]. 草业科学, 2006 (4): 71–75.
WANG J J, ZHAO B Y, LI M T, et al. Ecological invasion plant-Bitter weed(*Ambrosia artemisiifolia*) and integrated control strategy [J]. *Pratacultural Science*, 2006 (4): 71–75. (in Chinese)
- [6] 王蕊, 孙备, 李建东, 等. 不同光强对入侵种三裂叶豚草表型可塑性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23 (7): 1797–1802.
WANG R, SUN B, LI J D, et al. Effects of light intensity on the phenotypic plasticity of invasive species *Ambrosia trifida* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23 (7): 1797–1802. (in Chinese)
- [7] 殷萍萍, 李建东, 殷红, 等. 三裂叶豚草入侵对植物生物多样性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010 (4): 189–194.
YIN P P, LI J D, YIN H, et al. Impacts of *Ambrosia trifida* invasion on plant biodiversity [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010 (4): 189–194. (in Chinese)
- [8] 王大力, 祝心如. 三裂叶豚草的化感作用研究[J]. 植物生态学报, 1996 (4): 330–337.
WANG D L, ZHU X R. Allelopathic research of *Ambrosia trifida* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996 (4): 330–337. (in Chinese)
- [9] ŠUČUR J, KONSTANTINOVIĆ B, CRNKOVIĆ M, et al. Chemical composition of *Ambrosia trifida* L. and its allelopathic influence on crops [J]. *Plants (Basel)*, 2021, 10 (10): 2222.
- [10] 曲波, 薛晨阳, 许玉凤, 等. 三裂叶豚草入侵对撂荒农田早春植物群落的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2019 (3): 358–364.
QU B, XUE C Y, XU Y F, et al. Effects of *Ambrosia trifida* on the early spring plant community in abandoned farmland [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2019 (3): 358–364. (in Chinese)
- [11] 孙备, 李建东, 王国骄, 等. 三裂叶豚草对其入侵地植物-土壤微生物反馈作用的影响[J]. 生态环境学报, 2016 (7): 1174–1180.
SUN B, LI J D, WANG G J, et al. Effects of exotic *Ambrosia trifida* L. on plant-soil microbial feedback in its invaded ecosystem [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2016 (7): 1174–1180. (in Chinese)
- [12] 莫金钢, 马建, 张丽辉, 等. 干旱胁迫对大豆种子萌发的影响[J]. 大豆科学, 2014 (5): 701–704.
MO J G, MA J, ZHANG L H, et al. Effect of drought stress on germination of soybean [J]. *Soybean Science*, 2014 (5): 701–704. (in Chinese)
- [13] 莫金钢, 马建, 沈勇, 等. 干旱胁迫下大豆抗旱突变体M18苗期生长和生理特性[J]. 中国油料作物学报, 2014 (6): 770–776.
MO J G, MA J, SHEN Y, et al. Growth and physiological characteristics of seedlings of soybean drought-resistant mutant M18 under drought stress [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2014 (6): 770–776. (in Chinese)
- [14] KANAYA N, GILL B S, GROVER I S, et al. Vicia faba chromosomal aberration assays [J]. *Mutat Res.*, 1994, 310 (6): 231–247.
- [15] 周娟娟, 魏巍, 谢文栋, 等. 燕麦植株浸提液对垂穗披碱草种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 中国草地学报, 2021 (8): 18–25.
ZHOU J J, WEI W, XIE W D, et al. Allelopathic effect of oat(*Avena sativa*)aqueous extracts on seed germination and seedling growth of *Elymus nutans* [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2021 (8): 18–25. (in Chinese)
- [16] 高玉莲, 常静, 王贻卉, 等. 瑞香狼毒根提取物对3种作物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 草业学报, 2021 (10): 83–91.
GAO Y L, CHANG J, WANG Y H, et al. Allelopathic effects of

- Stellera chamaejasme* on seed germination and growth of three crops [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021 (10) : 83–91. (in Chinese)
- [17] SARIĆ K M, UMILJENDIĆ J G, RADIVOJEVIĆ L, et al. Chemical Composition of *Ambrosia trifida* Essential Oil and Phytotoxic Effect on Other Plants. [J]. *Chemistry & biodiversity*, 2020, 17 (1) : e1900508.
- [18] 刘雅婧, 蒙仲举, 党晓宏, 等. 狼毒浸提液对3种牧草种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *草业学报*, 2019 (8) : 130–138.
- LIU Y J, MENG Z J, DANG X H, et al. Allelopathic effects of *Stellera chamaejasme* on seed germination and seedling growth of alfalfa and two forage grasses [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019 (8) : 130–138. (in Chinese)
- [19] TURK M A, TAWAHA A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.) [J]. *Crop Protection*, 2003, 22 (4) : 673–677.
- [20] CHON S U, CHOI S K, JUNG S, et al. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass [J]. *Crop Protection*, 2002, 21 (10) : 1077–1082.
- [21] 魏玉兰. 滇重楼活性物质对4种观赏草本植物的化感作用研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- WEI Y L. *Allelopathic effects of active substances from Paris polyphylla* var. *yunnanensis* on four ornamental herbs[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [22] UDO B, THOMAS M. Interrelationships between p-Coumaric Acid, Evapotranspiration, Soil Water Content, and Leaf Expansion [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32 (8) : 1817–1834.
- [23] 李洁, 雷波. 空心莲子草水浸提液对蚕豆根尖细胞有丝分裂的影响 [J]. *南方农业学报*, 2013 (12) : 1972–1976.
- LI J, LEI B. Effects of *Alternanthera philoxeroides* Griseb. aqueous extract on mitosis of *Vicia faba* root tip cell [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013 (12) : 1972–1976. (in Chinese)
- [24] 莫金钢, 宋思闻, 张丽辉, 等. 醋酸铅对蚕豆根尖细胞微核率的影响 [J]. *福建农业学报*, 2017 (8) : 905–908.
- MO J G, SONG S W, ZHANG L H, et al. Effect of lead acetate on micronucleus count in root-tip cells of *Vicia faba* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2017 (8) : 905–908. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)