

银杏外种皮对生菜生长及生理特性的影响

林仁亨¹, 黄海涛², 李焕秀¹, 姜建业³, 蒋伟⁴, 唐懿^{1*}

(1 四川农业大学果蔬研究所, 成都 610000; 2 绵阳市农业科学研究院, 四川绵阳 621000; 3 金堂县农村发展和林业局, 成都 610000; 4 成都师范学院化学与生命科学学院, 成都 610000)

摘要: 为了探讨银杏外种皮对生菜的化感作用, 采用盆栽方法, 分别设置 5 个外种皮施用量(0、15、30、60、90 g/盆)处理, 研究银杏外种皮对生菜生长、抗氧化酶系统、渗透调节物质含量以及光合参数的影响。结果表明: 随着银杏外种皮施用量的增加, 生菜的主根长和地上部鲜重呈先上升后下降的趋势, 而株高和茎粗则不断下降, 在施用量为 90 g/盆时生菜的各生长指标均达到最低值; 生菜的光合色素含量随银杏外种皮施用量的增加呈下降趋势, 各处理不同光合色素含量与对照相比均显著下降; 生菜超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性、游离脯氨酸含量及可溶性蛋白含量随银杏外种皮施用量的增加均先上升后下降, 但丙二醛(MDA)含量并未显著增加; 生菜净光合速率 P_n 、胞间 CO_2 浓度 C_i 和蒸腾速率 T_r 随银杏外种皮施用量的增加呈先上升后下降的趋势, 气孔导度 G_s 则不断下降。综上所述, 银杏外种皮对生菜产生了明显的化感作用, 对生菜的生长、生理和光合指标总体呈抑制作用, 并且随着施用量的增加, 抑制作用不断加强。

关键词: 银杏外种皮; 化感作用; 生菜; 生理特性; 光合特性

中图分类号: Q945.7; S636.2 **文献标识码:** A

化感作用(Allelopathy)又称为相生相克作用、他感作用, 早在两千多年前已经逐渐被人们发觉^[1]。化感作用最初是由德国植物学家 Molish^[2]在 1937 年提出和定义的, 之后 Rice^[3-4]又不断对化感作用的定义加以补充。银杏(*Ginkgo biloba* L.), 又名白果, 是仅存的子遗植物之一, 也是世界上传统而珍贵的药用植物资源^[5]。在我国的江苏、广西、湖北、山东和四川广泛分布^[6-7]。银杏外种皮是种子硬壳外面的肉质部分, 含有黄酮类、内酯类、银杏酚酸等化学成分^[5], 银杏外种皮提取物对植物致病真菌具有不同的抑制效果^[9-10], 水提液对蚜虫、稻螟虫、菜青虫幼虫、红蜘蛛等都具有明显的毒杀作用^[11]。银杏外种皮分离物具有一定的抗肿瘤效果^[12-13], 银杏外种皮中含有的银杏酸具有很强的抑制酶活和清除自由基能力^[14]。低浓度的银杏叶聚戊烯醇可促进小麦种子萌发和幼苗的生长, 高浓度的聚戊烯醇则起到一定的抑制作用^[15]。由以上研究可知, 银杏外种皮具有很强的化感效应, 但在我国银杏外种皮资源利用很不理想, 在银杏产地银杏外种皮被当作废物随意丢弃, 造成了一定的环境污

染^[6]。在已有的研究中, 将植物秸秆施入土壤中可增加土壤肥力促进受体作物生长^[16-17], 因此, 深入对银杏外种皮的研究和开发利用, 不但可以废物利用, 变废为宝, 而且还能有效地防止环境污染。本研究以常见蔬菜作物生菜为受体, 采用盆栽试验, 在混有银杏外种皮的土壤中种植生菜, 初步探讨银杏外种皮施入土壤后对生菜生理和光合作用的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供体材料 于 2015 年 10 月在四川农业大学校园和成都市温江区城新路收集掉落的银杏果实, 用自封袋装好带回实验室。将银杏外种皮与种子剥离, 在 70℃ 的烘箱里烘干至恒重, 然后剪碎成 0.1 ~ 0.5 cm³ 小块备用。

1.1.2 受体材料 生菜(*Romaine Lettuce*)为玻璃生菜, 购于成都市种子站。

1.1.3 栽植容器和土壤 采用统一规格 21 cm × 20 cm(直径×高)的塑料花盆进行盆栽试验, 土壤取自

* 通讯作者(95459425@qq.com)

作者简介: 林仁亨(1992—), 男, 四川南充人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜化感效应和蔬菜地重金属污染治理的研究。E-mail: 412116458@qq.com

四川农业大学成都校区周边农田，为水稻土(基本理化性质为：pH 7.85，有机质 24.382 g/kg，全氮 0.662 g/kg，全磷 6.710 g/kg，全钾 5.808 g/kg，有效磷 128.631 mg/kg，速效钾 15.269 mg/kg)。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 3 月至 6 月在四川农业大学成都校区内进行，参照核桃青皮分解对小白菜生长和生理特性的影响中的剂量梯度^[16]，设置每盆施用量 0、15、30、60、90 g/盆 5 个处理。土壤取回后晾晒一周，研磨，过 1 cm 筛，按设计剂量将银杏外种皮与 4 kg 土壤均匀混合后装入塑料花盆中，每天浇透水，放置 7 d。选择饱满、大小均一的生菜种子，用纱布包裹放置在 20℃ 恒温箱中培养，进行催芽。露白后，均匀播种相同数量(10 粒/盆)的生菜种子于花盆中，覆土 0.5 cm。每个处理重复 3 次。待子叶出土并长势稳定后进行间苗，每盆保留 4 株。盆栽试验在塑料大棚中进行，每天进行观察并适当浇水，同时注意病虫害防治和管理，50 d 后进行指标测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长指标 在播种 50 d 后，从各处理中随机抽取幼苗 8 株，测定株高、主根长、茎粗及其地上部分鲜重。株高和主根长利用刻度尺测量，茎粗利用游标卡尺测量，地上部分鲜重利用电子天平称量。

1.3.2 抗氧化酶活性 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑法^[19]；过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[20]；过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外分光光度法^[21]。

1.3.3 丙二醛和渗透调节物质含量 丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸加热显色法^[22]；游离脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮比色法^[23]；可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G250 法^[20]。

1.3.3 叶绿素含量、净光合速率和气体交换参数 叶

绿素含量采用丙酮-乙醇混合液提取法测定^[24]；采用 Li6400 便携式光合作用测定仪进行净光合速率和气体交换参数测定。

1.4 数据处理

所有数据用 Excel 2010 软件进行计算，用 SPSS 20.0 统计分析软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)，差异显著性比较使用 Duncan 新复极差法。采用 Williamson 等的方法来量化感效应指数(RI)， $RI = 1 - C/T$ (当 $T > C$ 时)或 $RI = T/C - 1$ (当 $T < C$ 时)^[25]。其中， C 为对照值， T 为处理值，RI 为化感效应指数(RI > 0 为促进作用，RI < 0 为抑制作用，绝对值大小与作用强度一致)。

2 结果与分析

2.1 银杏外种皮对生菜生长的影响

银杏外种皮施入土壤以后对生菜的各个生长指标产生了不同的影响，由表 1 可知，随着外种皮施用量的增加，生菜的主根长呈先增长后降低的趋势，即低浓度的施用量对主根长起促进作用，高浓度的施用量对主根长起抑制作用。与对照相比，15、30、60 g/盆处理主根长增长，90 g/盆处理主根长降低，其中 30 g/盆处理增长最大，与对照相比增加了 21.34%，达到了显著差异($P < 0.05$)，而其余各处理与对照相比差异均不显著。随着外种皮施用量的增加，株高和茎粗呈下降趋势，其中株高各个处理均显著低于对照($P < 0.05$)，90 g/盆处理时，株高降低了 25.58%，而茎粗的变化则不大，各处理与对照相比均没达到显著性差异。地上部分鲜重的变化与主根长的变化相似，均是随着银杏外种皮施用量增加，呈先上升后下降的趋势，但地上部鲜重仅 15 g/盆处理上升，而 30、60、90 g/盆处理皆下降，其中 90 g/盆处理下降最多，与对照相比降低了 33.56%，差异显著($P < 0.05$)，而其余各处理与对照相比差异均不明显。

表 1 银杏外种皮对生菜根长、株高、茎粗及生物量的影响
Table 1 Effects of *Ginkgo biloba* exocarp on root length, height, stem diameter and biomass of lettuce

银杏外种皮施用量 (g/盆)	主根长		株高		茎粗		地上部分鲜重	
	测定值(cm)	化感指数(RI)	测定值(cm)	化感指数(RI)	测定值(cm)	化感指数(RI)	测定值(g/盆)	化感指数(RI)
0	16.15 ± 3.88 b	-	12.9 ± 0.61 a	-	0.98 ± 0.05 a	-	27.8 ± 3.35 ab	-
15	18.23 ± 2.03 ab	0.114	12.1 ± 0.59 b	-0.062	0.97 ± 0.04 a	-0.010	30.2 ± 3.87 a	0.079
30	19.60 ± 0.71 a	0.176	11.2 ± 0.53 c	-0.132	0.96 ± 0.04 a	-0.020	26.65 ± 3.3 ab	-0.041
60	16.70 ± 0.6 b	0.033	10.4 ± 0.49 d	-0.194	0.95 ± 0.02 a	-0.031	24.13 ± 3.41 b	-0.131
90	15.45 ± 1.82 b	-0.043	9.6 ± 0.44 e	-0.256	0.93 ± 0.02 a	-0.051	18.47 ± 2.69 c	-0.336

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列指标不同小写字母表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下同。

2.2 银杏外种皮对生菜光合色素的影响

由表 2 可知,随着银杏外种皮施用量的增加,生菜叶片内的各种光合色素均呈下降趋势,且各处理与对照相比都显著降低($P<0.05$)。银杏外种皮施用量达 90 g/盆时生菜叶片内叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿

素及类胡萝卜素含量均达最低值,与对照相比分别减少了 55.12%、53.67%、54.80% 及 62.40%。由此可知,银杏外种皮施入土壤后对生菜光合色素的合成起到了抑制效应,并且随着施用量的增加这种抑制效果不断加强。

表 2 银杏外种皮对生菜光合色素含量的影响
Table 2 Effects of *Ginkgo biloba* exocarp on photosynthetic pigmen contents in lettuce

银杏外种皮施用量 (g/盆)	叶绿素 a		叶绿素 b		总叶绿素		类胡萝卜素	
	测定值 (mg/g FW)	化感指数 (RI)						
0	0.938 ± 0.046 a	-	0.259 ± 0.012 a	-	1.197 ± 0.051 a	-	0.367 ± 0.012 a	-
15	0.813 ± 0.037 b	-0.133	0.178 ± 0.007 b	-0.313	0.991 ± 0.042 b	-0.172	0.273 ± 0.012 b	-0.256
30	0.729 ± 0.032 b	-0.223	0.167 ± 0.006 b	-0.355	0.896 ± 0.040 b	-0.251	0.251 ± 0.011 b	-0.316
60	0.542 ± 0.031 c	-0.422	0.141 ± 0.005 c	-0.456	0.683 ± 0.033 c	-0.429	0.179 ± 0.008 c	-0.512
90	0.421 ± 0.014 d	-0.551	0.120 ± 0.004 d	-0.537	0.541 ± 0.023 d	-0.548	0.138 ± 0.006 d	-0.624

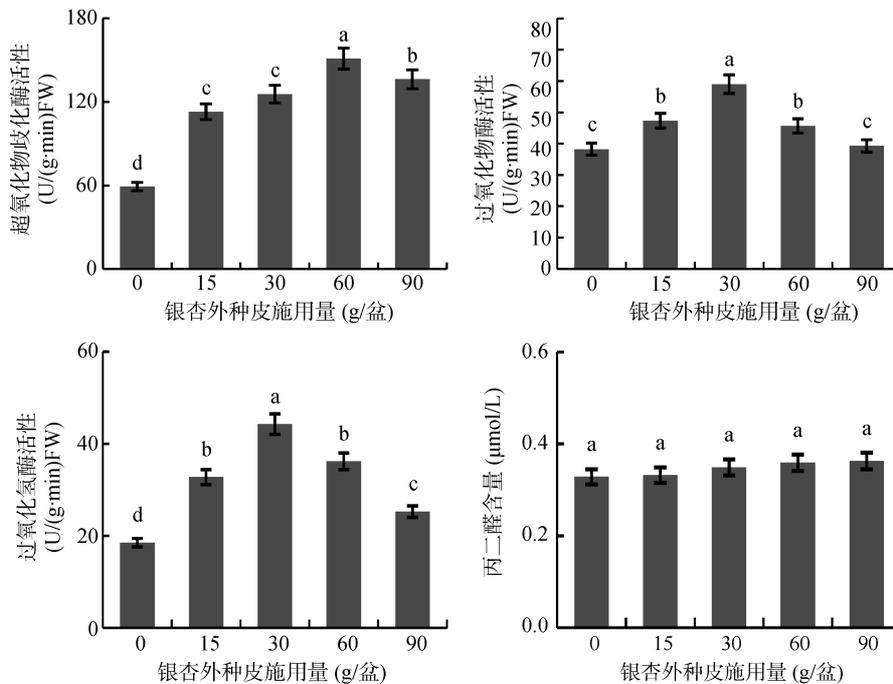
2.3 银杏外种皮对生菜叶片抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响

由图 1 可知,施用银杏外种皮后,各处理生菜叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量均高于对照。其中各处理 SOD 活性均显著高于对照($P<0.05$),银杏外种皮 60 g/盆时 SOD 活性达到最高,比对照增加 155.24%; POD 活性除 90 g/盆处理与对照相比差异不显著以外,其他各处理均显著高于对照($P<0.05$),30 g/盆处理活性最高,比对照增加 55.26%; CAT 活

性与 SOD 活性相似,各处理均显著高于对照($P<0.05$),但 CAT 活性达到最高为 30 g/盆处理,与对照相比升高 139.19%。丙二醛含量随银杏外种皮施用量增加逐渐增加,但是各处理的丙二醛含量与对照相比差异并不显著。

2.4 银杏外种皮对生菜叶片游离脯氨酸及可溶性蛋白的影响

由图 2 可知,生菜叶片游离脯氨酸含量在施用银杏外种皮后均普遍升高,但这种增加趋势随施用量的增加呈先上升后下降的趋势,其中 30 g/盆处理游离



(图中不同小写字母表示处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著,下同)

图 1 银杏外种皮对生菜叶片内 3 种抗氧化酶活性以及 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of *Ginkgo biloba* exocarp on antioxidant enzyme activities and MDA contents in lettuce

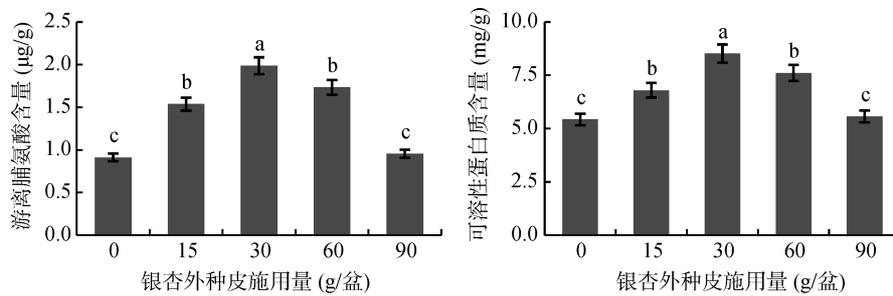


图 2 银杏外种皮对生菜叶片内游离脯氨酸含量及可溶性蛋白含量的影响
Fig. 2 Effects of *Ginkgo biloba* exocarp on contents of free proline and soluble protein in lettuce

脯氨酸含量达最高,与对照相比显著增加了 117.87% ($P<0.05$),而 90 g/盆处理游离脯氨酸含量与对照相比已无显著差异。可溶性蛋白含量的改变与游离脯氨酸含量的改变相似,也是各处理均比对照高,随银杏外种皮施用量的增加呈先上升后下降的趋势,其中 30 g/盆处理可溶性蛋白含量达最高,与对照相比增加了 56.91% ($P<0.05$)。

2.5 银杏外种皮对生菜净光合速率和气体交换参数的影响

生菜的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)随银杏外种皮施用量的增加呈不同的变化趋势。由表 3 可知,生菜的 Pn 随银杏外种皮施用量的增加,呈先上升后下降的趋势,且各个处理均与对照差异显著($P<0.05$),其中,银杏外种皮施用量 15、30 g/盆处理与对相比分别增加了

19.83%、9.25%,60、90 g/盆处理与对照相比则分别降低了 51.95% 和 57.61%。由此可知,银杏外种皮对生菜 Pn 的促进作用不大,对其的抑制作用却十分突出。

生菜 Gs 随银杏外种皮施用量的增加,呈不断下降的趋势,60、90 g/盆处理与对照相比达到显著性差异水平($P<0.05$)。生菜 Ci 随银杏外种皮施用量的增加先上升后下降,各处理与对照均差异显著($P<0.05$),15 g/盆处理与对照相比增加了 8.21%,90 g/盆处理与对照相比减少了 9.93%。生菜 Tr 随银杏外种皮施用量的增加,呈先上升后下降的趋势,除 30 g/盆处理与对照差异不显著外,其他各施用量处理与对照相比均差异显著($P<0.05$),其中 15 g/盆处理增加最多,达 16.13%,90 g/盆处理降低最多,达 21.51%。

表 3 银杏外种皮对生菜光合速率和气体交换参数的影响
Table 3 Effects of *Ginkgo biloba* exocarp on photosynthetic rates and gas exchange parameters of lettuce

银杏外种皮添 加量(g/盆)	净光合速率 Pn		气孔导度 Gs		胞间 CO ₂ 浓度 Ci		蒸腾速率 Tr	
	测定值 (CO ₂ , µmol/(m ² ·s))	化感指数 (RI)	测定值 (H ₂ O, mol/(m ² ·s))	化感指数 (RI)	测定值 (CO ₂ , mmol/(m ² ·s))	化感指数 (RI)	测定值 (H ₂ O, mol/(m ² ·s))	化感指数 (RI)
0	16.44 ± 0.14 c	-	0.55 ± 0.07 ab	-	319.74 ± 4.21 c	-	4.92 ± 0.12 b	-
15	19.70 ± 0.68 a	0.165	0.45 ± 0.04 b	-0.178	346.01 ± 1.88 a	0.076	5.71 ± 0.07 a	0.139
30	17.96 ± 0.59 b	0.085	0.41 ± 0.02 bc	-0.243	335.88 ± 17.39 b	0.048	4.92 ± 0.18 b	0.002
60	7.90 ± 0.46 d	-0.519	0.34 ± 0.15 c	-0.374	290.37 ± 8.07 d	-0.092	4.09 ± 1.12 c	-0.167
90	6.97 ± 0.61 e	-0.576	0.33 ± 0.11 c	-0.395	287.99 ± 4.74 d	-0.099	3.86 ± 0.20 c	-0.215

3 讨论

已有研究表明,植物枯落物会改变土壤碳、氮、磷组成,提高土壤有机质含量^[26],银杏外种皮提取物对小白菜种子的萌发具有“高浓度抑制,低浓度促进”的作用^[26]。本试验中低浓度的银杏外种皮施用量促进生菜主根的生长,增加了生菜地上部鲜重,而高浓度的银杏外种皮施用量则显著抑制生菜主根的生长和减少生菜地上部鲜重,这种高浓度抑制效果随着银杏外种皮施用量的增加逐渐增强,而生菜的

株高和茎粗则随着银杏外种皮添加量的增加呈不断减少的趋势,这与赵东亚等^[28]关于银杏外种皮提取物对植物种子萌发及幼苗生长的影响研究结果相同。银杏外种皮对生菜的不同部位的化感效应不同可能与所选植物的不同和不同部位对银杏外种皮化感物质的敏感度有关系,但总体上随着银杏外种皮添加量的增加,生菜的生长指标最后都是呈下降的趋势,受到了明显的抑制作用。“高抑低促”的现象在生菜的光合速率和气体交换参数中也有体现,随着银杏外种皮添加量的增加,生菜的净光合速率、胞间 CO₂ 浓

度和蒸腾速率均是先小幅增加再大量降低,仅生菜的气孔导度呈不断下降的趋势。

叶绿体色素是植物吸收太阳光能进行光合作用的重要物质,主要由叶绿素(叶绿素 a、叶绿素 b)和类胡萝卜素(胡萝卜素、叶黄素)组成,叶绿素与光合作用存在着密切的关系^[20]。本试验结果显示银杏外种皮显著抑制生菜幼苗的光合色素的生成,并随银杏外种皮施用量的增加,抑制效果不断增强。这与吴秀华等^[29]关于巨桉凋落叶分解对菊苣生长及光合特性研究结果一致。

当植物受到环境胁迫时,其体内会积累大量具有强氧化性的活性氧,引起一系列有害的生化反应,从而损伤细胞产生 MDA,此时,植物会启动自身的抗氧化系统对活性氧进行清除,其中,SOD 在保护细胞免受氧自由基的毒害中发挥着重要的作用,所以 SOD 的活性常作为抗性生理研究中的一个指标^[30-31]。大量研究表明,MDA 是细胞膜脂过氧化作用的产物之一,它能加剧膜的损伤,因此,MDA 含量能够代表膜脂过氧化的程度,也能间接反映植物组织的抗氧化能力的强弱^[32]。本试验结果显示各处理 SOD、POD 及 CAT 活性与对照相比均有不同程度的增强,但当银杏外种皮化用量达 90 g/盆处理后开始下降,而 MDA 与对照相比无显著变化,这与丁伟等^[33]关于核桃凋落叶分解对萝卜生长和生理的影响研究结果一致,这说明银杏外种皮在土壤中会释放一些化感物质对生菜产生一定的胁迫,从而引起抗氧化系统的反应,不过其胁迫强度相对较小,生菜可以通过自身抗氧化酶系统进行调节从而解除这种胁迫。

植物在逆境胁迫下,植物细胞内积累一些渗透调节物质,以调节细胞内的渗透势,维持水分平衡,同时保护细胞内代谢活动所需的酶类^[34]。可溶性蛋白和游离脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质,在一定程度上也反映了银杏外种皮化感作用对生菜产生的胁迫程度,在本试验研究中发现可溶性蛋白及游离脯氨酸含量均先增加后减少至对照水平。可溶性蛋白主要是参与代谢的各种酶,在逆境胁迫条件下其合成往往受阻^[35],在本试验中可溶性蛋白是先上升再下降,这说明低浓度的银杏外种皮施用量对生菜酶的合成是起促进作用的,高剂量的施用量则起到抑制作用。当植物受到干旱胁迫造成生理缺水时,植物体内会积累大量游离脯氨酸,这说明游离脯氨酸含量在一定程度上反映了植物体内水分含量的情况^[36],本试验结果说明低剂量的银杏外种皮施用量会导致生菜遭受水分胁迫。

4 结论

本研究表明,在混有不同量的银杏外种皮的土壤中种植生菜,不同量的银杏外种皮对生菜均产生了化感作用,对生菜生长、生理和光合指标具有一定的抑制作用,且随着外种皮的施用量的增加,对生菜的抑制作用不断加强,以 90 g/盆处理下降最多,所以生菜不宜在银杏林下栽植,如果要在含有银杏外种皮的土壤中种植,应该选择外种皮含量较少的土壤或者等到其在土壤中分解以后再进行种植。

参考文献:

- [1] 彭少麟,邵华. 化感作用的研究意义及发展前景[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 780-786
- [2] Molisch H. Einfluss einer pflanze auf die andere, allelopathie[J]. Nature, 1938, 141 (3568): 493
- [3] Rice E L. Allelopathy[M]. New York: Academic Press, 1974
- [4] Rice E L. Allelopathy (2 Ed.)[M]. New York: Academic Press, 1983
- [5] 张海龙,李善春,卢维浩,等. 银杏内生真菌多样性与产黄酮类物质真菌的分离和鉴定[J]. 土壤, 2015, 47(1): 135-141
- [6] 赵肃清,李锋,孙远明. 银杏外种皮研究进展[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(6): 515-518
- [7] 吴春年. 泰兴市银杏产业发展现状及对策研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005
- [8] 仰榴青,吴向阳,吴静波,等. 银杏外种皮的化学成分和药理活性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(2): 20-24
- [9] 赵肃清,蔡燕飞,文永新,等. 银杏外种皮提取液对农作物病原菌抑制效应研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(5): 368-369
- [10] 王国艳,朱晶晶,楼凤昌. 银杏外种皮的化学成分及其对植物真菌的抑制作用[J]. 中国药科大学学报, 2014, 45(2): 170-174
- [11] 巨云为,樊培峰,杨雪云. 银杏外种皮用于病虫害防治研究进展[J]. 林业科技开发, 2008, 22(2): 6-8
- [12] Itokawa H, Totsuka N, Nakahara K, et al. Antitumor principles from *Ginkgo biloba* L.[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 1987, 35(7): 3016-2020
- [13] 陈颖,茅蕾蕾,胡碧原,等. 银杏外种皮提取物联合顺铂对 S180 荷瘤小鼠抗肿瘤增效减毒作用[J]. 中国新药杂志, 2014, 23(13): 1569-1573
- [14] Nomura M, Tada T, Henmi A, et al. Synthesis of 6-(8Z,11Z)-8,11,14-Pentadecatrienyl) salicylic acid derivatives and their inhibition properties toward tyrosinase or hyaluronidase[J]. Nippon Kagaku Zasshi, 1995, 116(12): 986-993
- [15] 陈虹霞,王成章,孙燕. 银杏叶聚戊烯醇对小麦种子萌发和幼苗生长的化感作用研究[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(5): 7-10

- [16] 秦俊豪, 温莹, 李君菲, 等. 绿肥植物田菁的化感效应及对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2015, 47(3): 524–529
- [17] 赵金花, 张丛志, 张佳宝. 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 438–449
- [18] 史洪洲, 胡庭兴, 陈洪. 核桃青皮分解对小白菜生长和生理的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2467–2474
- [19] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59(2): 309
- [20] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003
- [21] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 214–219
- [22] 张以顺. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009
- [23] 职明星, 李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2005, 33(4): 355–357
- [24] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(03): 26–28
- [25] Bruce W G, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls.[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1):181
- [26] 马任甜, 方瑛, 安韶山. 云雾山草地植物地上部分和枯落物的碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(5):1170–1180
- [27] 赵东亚. 银杏外种皮有效成分的提取及生物活性的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013
- [28] 赵东亚, 唐进根, 陈利红, 等. 银杏外种皮提取物对植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏林业科技, 2014, 41(3): 10–13
- [29] 吴秀华, 胡庭兴, 杨万勤, 等. 巨桉凋落叶分解对菊苣生长及光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 1–8
- [30] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012
- [31] 董亮, 何永志, 王远亮, 等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013(5): 53–58
- [32] 丁玉梅, 马龙海, 周晓罡, 等. 干旱胁迫下马铃薯叶片脯氨酸、丙二醛含量变化及与耐旱性的相关性分析[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 106–110
- [33] 丁伟, 胡庭兴, 李仲彬, 等. 核桃凋落叶分解对莴笋抗氧化系统及光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(4): 769–777
- [34] 黄建贝, 胡庭兴, 吴张磊, 等. 核桃凋落叶分解对小麦生长及生理特性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 6855–6863
- [35] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651–657
- [36] 陈绍莉, 周宝利, 蔺姗姗, 等. 肉桂酸和香草醛对嫁接茄子根系生长及生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1446–1452

Effects of *Ginkgo Biloba* Exocarp on Growth and Physiological Characteristics of Lettuce

LIN Renheng¹, HUANG Haitao², LI Huanxiu¹, JIANG Jianye³, JIANG Wei⁴, TANG Yi^{1*}

(1 Fruit and Vegetable Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 610000, China; 2 Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Mianyang, Sichuan 621000, China; 3 Jintang County Rural Development and Forestry Bureau, Chengdu 610000, China; 4 College of Chemistry and Life Science, Chengdu Normal University, Chengdu 610000, China)

Abstract: *Ginkgo biloba* exocarp may have allelopathy on lettuce, a pot experiment was conducted with 5 grades of exocarp application (0, 15, 30, 60 and 90 g/pot) in order to study of the effects of *Ginkgo biloba* exocarp on lettuce growth, antioxidant system, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic system. The results showed that with the increase of lettuce exocarp application, fresh weights of lettuce root length and shoot increased firstly and then decreased, while plant height and stem diameter decreased, and the above lettuce indexes reached the minimum values under 90 g/pot treatment; with the increase of exocarp application, the contents of photosynthetic pigments were decreased significantly compared with the contrast, the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) activity as well as the contents of free proline and soluble protein increased first and then decreased, but malondialdehyde (MDA) content increased insignificantly in lettuce; and with the increase of exocarp application, net photosynthetic rate Pn, intercellular carbon dioxide Ci and transpiration rate of Tr increased first and then decreased, stomatal conductance Gs is dwindling in lettuce. In summary, *Ginkgo biloba* exocarp has obvious allelopathic effects on lettuce, inhibiting lettuce growth, physiological characteristics and photosynthetic indexes, the inhibition is strengthened with the increase of exocarp application.

Key words: *Ginkgo biloba* exocarp; Allelopathic effect; Lettuce; Physiological property; Photosynthetic characteristics