

# 杨树凋落叶腐解对生菜生长和抗性生理的影响

赵洪斌<sup>1</sup> 王守强<sup>2</sup> 胡开波<sup>2</sup> 左明华<sup>2</sup> 朱子政<sup>2</sup>

(1. 旺苍县林业和园林局 四川 广元 628200; 2. 四川林业调查规划院 四川 成都 610081)

**摘要:** 本实验以生菜为受体,采用盆栽试验,对杨树凋落叶在土壤腐解过程的化感作用进行了研究。试验设置4个凋落叶添加水平,即: A<sub>1</sub>(30 g·pot<sup>-1</sup>)、A<sub>2</sub>(60 g·pot<sup>-1</sup>)、A<sub>3</sub>(90 g·pot<sup>-1</sup>)和对照CK(不施加凋落叶),分别将各处理凋落叶与8 kg土壤混合后装盆,播种生菜。在播种后50 d测定生菜株高、生物量及抗性生理指标。结果表明:1) A<sub>3</sub>处理植株株高受到显著抑制,A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>处理植株生物量积累受到显著抑制;2) 受体叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性随着凋落叶量的增加呈先升后降的趋势;3) A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>叶片丙二醛(MDA)含量均大于对照(CK),且随凋落叶处理量增大呈渐增趋势;4) 各处理叶片可溶性糖(SS)含量均显著高于对照(CK),可溶性蛋白(SP)含量则均显著低于对照(CK)。由此可见,杨树凋落叶在土壤腐解的过程中生菜的生长会受到影响,在大量处理时表现为明显的抑制。

**关键词:** 杨树凋落叶; 生菜; 化感作用; 生长; 抗性生理

**中图分类号:** S714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5508(2013)06-0016-06

## Effects of Decomposed Leaf Litter of *Populus* on Growth and Resistance Physiology of *Lactuca sativa*

ZHAO Hong-bin<sup>1</sup> WANG Shou-qiang<sup>2</sup> HU Kai-bo<sup>2</sup>  
ZUO Ming-hua<sup>2</sup> ZHU Zi-zheng<sup>2</sup>

(1. Wangcang Forestry and garden Administration Bureau ,Wangcang 628200 Sichuan ,China;  
2. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute ,Chengdu 610081 Sichuan ,Chian)

**Abstract:** By using pot experiments ,researches was conducted on the effects of leaf litter of *Populous* on the growth and resistance physiology of *Lactuca sativa* during the decomposition process of leaf litter. Each pot contained 8 kg soil mixed with 30 ,60 ,90 and 0 g leaf litter. Height ,biomass ,and several resistance physiology indexes of *Lactuca sativa* were determined on 50 d after sowing. The results showed that 1) the heigh of A<sub>3</sub> was inhibited significantly on 50 d after planting ,and the biomass of A<sub>2</sub> and A<sub>3</sub> was inhibited significantly; 2) The activities of superoxide dismutase ( SOD) increased in low litter content and decreased in higher litter content; 3) The content of malondialdehyde ( MDA) of A<sub>2</sub> and A<sub>3</sub> was higher than that of control( CK) ,and moreover ,it increased along with the addition of leaves; 4) The content of soluble sugar( SS) in each treatment was significantly higher than that of control( CK) ,whereas the content of soluble protein ( SP) was significantly lower than that of control( CK) . On the whole ,the high content leaf litter of *Populous* had a serious allelopathic effect on *Lactuca sativa* during its initial decomposition process in soil.

**Key words:** *Populous* leaf litter , *Lactuca sativa* , allelopathy , resistance physiology

杨树( *Populus* ) 具有早期速生、适应性强、分布 广、易杂交、易改良遗传性、易无性繁殖等特点,因而

收稿日期: 2013-08-15

作者简介: 赵洪斌(1974-) ,男,四川旺苍人,工程师,主要从事林业科技与森林资源方面工作。

广泛用于集约栽培,由于速生丰产等特点,使其成为全国大部分地区速生丰产林造林基地和工程造林的主要造林树种<sup>[1~3]</sup>。研究发现,杨树科植物能抑制多种植物的生长发育,除了其活体以挥发、淋溶等方式起作用外,凋落物分解仍具有化感潜力,因此会对林下一些植物生长和生存产生影响<sup>[4]</sup>。如杨树落叶水浸物对小麦 (*Triticum aestivum*)、玉米 (*Zea mays*) 等种子萌发及幼苗生长具有一定的影响<sup>[5]</sup>。中林-46 杨树根浸提液对大豆 (*Glycine max*) 幼苗的生长有极显著的促进作用,高浓度的浸提液对反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、蟋蟀草 (*Eleusine indica*)、虎尾草 (*Chloria virgata*) 有明显的抑制作用<sup>[6~7]</sup>。万开元<sup>[8]</sup>等对杨树叶和细根浸提物对莴苣 (*Lactuca sativa*) 种子萌发的研究表明,不同树龄杨树根系水浸物对莴苣种子的萌发具有明显的影响,表现出随着树龄增加抑制作用逐渐增强。幼年树根系水浸物对莴苣种子萌发具有一定的促进作用,适宜于间作农作物。赵勇<sup>[9]</sup>等利用泡桐和杨树叶浸出液研究表明,随着杨树和泡桐叶水浸液质量浓度的上升其化感抑制作用越来越强,受体作物种子的发芽率也越来越低。

农林复合系统是一种传统土地利用和经营方式,可明显减缓粮食短缺、资源不可再生以及生态环境恶化等问题<sup>[10,11]</sup>。据报道,杨树树下种植农作物对改善生态环境,提高自然资源利用效率,增加农民收入,促进生态旅游和经济协调发展等具有重要作用<sup>[12]</sup>。杨树除了成片种植外,在我国农村也常种植于房前屋后,与蔬菜地毗邻,而生菜 (*Lactuca sativa*) 作为常见的园地作物,多种植于杨树林边或树下,研究杨树对生菜等园地作物的化感作用,具有一定的现实意义。

目前,多数研究者以植物叶及其他器官浸提液进行生物测试等相关实验。但浸提液只能模拟化感物质在短时间内的影响,不能反映凋落叶在土壤中分解过程中对受体植物造成的影响。另外凋落叶分解在释放化感物质的同时也会释放营养物质,影响植物的生长<sup>[13]</sup>。因此,模拟自然状态下杨树凋落叶腐解过程更能接近农业耕种情况,更能提供符合生产的研究结果。故本研究采用盆栽试验,在混有杨树凋落叶的土壤中种植生菜,探讨杨树凋落叶在土壤内分解过程中对受体植物的影响及其机理,为杨树林下种植农作物并进行合理的经营管理提供理论依据和参考。

## 1 研究方法

### 1.1 试验地概况

实验在四川农业大学成都校区内进行。E103°51′,N30°42′,海拔 539 m。多年平均气温 15.9 °C,平均最高温度 28.5 °C ~ 29.3 °C,极端日最高温度可达 36 °C。年平均日照时间 1 168 h。平均降雨量 972 mm,属于亚热带湿润季风气候,受季风和地形的影响,四季分明,夏无酷暑,冬无严寒。平均相对湿度 84%,平均风速 1.3 m · s<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料与方法

#### 1.2.1 试验材料

供试土壤为农田沙壤土,基本理化性质为: pH 值 7.85,有机质 24.48 g · kg<sup>-1</sup>,全氮 0.67 g · kg<sup>-1</sup>,全磷 0.77 g · kg<sup>-1</sup>,全钾 5.52 g · kg<sup>-1</sup>,速效磷 14.63 mg · kg<sup>-1</sup>,速效钾 15.25 mg · kg<sup>-1</sup>。试验土过 1 cm 筛,混匀后装入盆高 26 cm、盆口直径 29 cm 的聚乙烯塑料盆中,每盆装土 8 kg,共计 36 盆。

2012 年 9 月,于 20 a 生杨树人工林下收集新鲜凋落叶,风干后剪成 1 cm<sup>2</sup> 左右的小块,与土壤均匀混合。选择饱满、大小均一的生菜种子,播种前用 0.5% KMnO<sub>4</sub> 溶液消毒 20 min,洗净,用温水浸种 2 h。

#### 1.2.2 试验设计

采用单因素随机试验设计,根据野外调查,杨树纯林年凋落叶量约 9 000 kg · hm<sup>-2</sup>,折算到盆口面积得到每盆基本施入量为 60 g · pot<sup>-1</sup>。故试验设置 A<sub>1</sub> (30 g · pot<sup>-1</sup>)、A<sub>2</sub> (60 g · pot<sup>-1</sup>)、A<sub>3</sub> (90 g · pot<sup>-1</sup>) 3 个凋落叶水平,并以 0 g · pot<sup>-1</sup> 为对照 CK。每个处理 6 次重复。

为观测施加凋落叶对土壤通气透水性的影响,采用化感效应被去除(或弱化)的凋落叶进行平行空白试验。具体操作是:将剪好的杨树凋落叶浸没于足量蒸馏水中,常温下浸提,每隔 6 h 更换一次蒸馏水,24 h 后将浸提的凋落叶全部过滤,再置于蒸锅中蒸煮 4 h。过滤后取出风干,同样按上述凋落叶加入量设置 4 个处理:CK、B<sub>1</sub> (30 g · pot<sup>-1</sup>)、B<sub>2</sub> (60 g · pot<sup>-1</sup>)、B<sub>3</sub> (90 g · pot<sup>-1</sup>),每个处理 3 次重复。

#### 1.2.3 试验操作

2012 年 9 月 20 日,将预先称量的凋落叶与土壤混合均匀,一次性浇透水,之后隔天浇水,用 HH2 土壤水分速测仪 (ML2x,GBR) 监测并控制土壤含水量,保持盆内土壤湿度为田间持水量的 80% (土壤

容积含水量约 18%) ,一周后(2012 年 9 月 28 日)播种生菜。播种前先在盆土表面覆土(厚度 0.5 cm 过 1 cm 筛)其上均匀点播种子,每盆 50 粒,然后再覆盖 2 cm 厚的土壤,浇透水以便于发芽。种子全部出苗后 10 d 间苗,进行常规田间管理,保持每盆的植株数相同。

### 1.3 测定指标及方法

播种后 50 d,从各处理中随机抽取幼苗 10 株,测定其株高及生物量,并取每株第 2、3 片成熟的功能叶片测定其抗性生理指标。补充试验于播种 50 d 时测定其株高及生物量。

生物量测定:将每株植株地上部分在通风干燥箱内 105℃ 杀青,然后 80℃ 烘至恒定质量。

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定:采用氮蓝四唑法<sup>[14]</sup>,以抑制 NBT 光化还原的 50% 为 1 个酶活单位 U。

过氧化物酶(POD)活性测定:采用愈创木酚法<sup>[15]</sup>,将 1 分钟 OD 增加 0.01 定义为 1 个酶活单位 U。

过氧化氢酶(CAT)活性测定:采用紫外分光光度法<sup>[16]</sup>,以 1min 内 OD 减少 0.1 为 1 个酶活单位 U。

丙二醛(MDA)与可溶性糖(SS)含量测定:采用硫代巴比妥酸加热显色法<sup>[15]</sup>。

可溶性蛋白(SP)含量测定:采用考马斯亮蓝 G250 法<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理

用 Williamson<sup>[18]</sup>提出的化感效应指数 Rate of Inhibition (RI) 衡量杨树凋落叶对生菜的综合效应。即:

$$RI = 1 - C/T \text{ (当 } T \geq C \text{ 时)} \text{ 或 } RI = T/C - 1 \text{ (当 } T < C \text{ 时)}$$

式中  $T$  为处理值,  $C$  为对照值,当  $RI > 0$  表示促进作用,当  $RI < 0$  表示抑制作用,  $RI$  的绝对值代表作用强度。采用 SPSS17.0 统计分析软件( SPSS Inc. USA) 对数据进行单因素方差分析( One-way ANOVA) 并用最小显著差数法( LSD 法) 进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 杨树凋落叶对生菜生长的影响

由表 1 可知,  $A_1$ 、 $A_2$  处理株高较 CK 差异不显

著,  $A_3$  处理株高较 CK 显著下降,化感效应指数 RI 值为 -0.140,株高为对照的 85.9%。随着土壤中杨树凋落叶量的增大,受体总体表现为先升后降的趋势,表明杨树凋落叶在土壤中分解释放的化感物质对生菜株高生长产生了影响。 $A_1$  处理干重较 CK 差异不显著,  $A_2$ 、 $A_3$  地上部分干重显著低于 CK,为 CK 的 83.8% 和 80.0%。这表明凋落叶在土壤中分解能抑制生菜生物量的积累,且随凋落叶量的增加化感抑制作用加大。

表 1 杨树凋落叶分解初期对生菜幼苗株高及生物量的影响

Table 1 The effects of decomposed *Populus* leaf litter on the height and biomass of *Lactuca sativa*

处理 Treatment	株高 Height( cm)		地上部分干重 Biomass of aboveground part ( g · Plant <sup>-1</sup> )	
	测定值( cm) Observation	化感指数 ( RI)	测定值 ( g <sup>-1</sup> plant <sup>-1</sup> ) Observation	化感指数 ( RI)
CK	18.5 ± 2.8 a	—	0.475 ± 0.101 a	—
$A_1$	20.1 ± 2.2 a	0.079	0.562 ± 0.073 ab	0.172
$A_2$	16.3 ± 1.9 a	-0.119	0.398 ± 0.074 b	-0.145
$A_3$	15.9 ± 1.3 b	-0.140	0.380 ± 0.030 b	-0.183

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同列指标不同字母表示处理间差异达显著水平(  $P < 0.05$ )

Notes: The data in the table is average value ± standard deviation, different letters in the same precedence indicate significant difference(  $P < 0.05$ )

### 2.2 杨树凋落叶对生菜叶片 3 种保护酶活性及 MDA 的影响

由表 2 可知,随着土壤中凋落叶量的增大,  $A_1$  处理下 SOD、POD、CAT 酶活性较 CK 均未产生显著差异,MDA 含量也与 CK 无明显差异,说明膜脂并未受到伤害。 $A_2$ 、 $A_3$  处理下的 SOD 均表现出显著的抑制作用(  $P < 0.05$ ),酶活性为 CK 的 27.7%、36.5%。 $A_2$ 、 $A_3$  处理下的 POD、CAT 较 CK 没有显著差异(  $P < 0.05$ ),MDA 含量均显著增加(  $P < 0.05$ ),且有随处理量增大而增大的趋势,表明膜质已经受到伤害。

### 2.3 杨树凋落叶对生菜渗透调节物质的影响

由表 3 可知,各处理生菜叶片 SS 含量均显著高于 CK(  $P < 0.05$ ),且随凋落叶量增加而呈先升后降的趋势。各处理为 CK 的 184.12%、203.15%、179.11%,说明杨树凋落叶处理会显著促进生菜 SS 含量的积累。SP 的变化趋势与 SS 正好相反,各处理生菜叶片 SP 含量在各测定时间均显著低于 CK(  $P < 0.05$ ),且随处理量的增大蛋白含量逐渐减少。

表 2 杨树凋落叶在土壤中分解过程中对生菜抗氧化酶系统的影响

Table 2 The effects of decomposed *Populus* leaf litter on antioxidant enzyme system of *Lactuca sativa*

处理 Treatment	超氧化物歧化酶活性 Activity of SOD		过氧化物酶活性 Activity of POD		过氧化氢酶活性 Activity of CAT		丙二醛含量 Content of MDA	
	测定值 Observation ( $U \cdot g^{-1} FW$ )	化感指数 (RI)	测定值 Observation ( $U \cdot g^{-1} FW$ )	化感指数 (RI)	测定值 Observation ( $U \cdot g^{-1} FW$ )	化感指数 (RI)	测定值 Observation ( $U \cdot g^{-1} \cdot 10^{-3} FW$ )	化感指数 (RI)
0(CK)	350.8 ± 28.98a	—	3571.4 ± 237.3a	—	23.81 ± 18.45a	—	4.311 ± 0.607c	—
30	369.2 ± 72.66a	0.05	3610.8 ± 486.1a	0.011	24.07 ± 5.94a	0.011	4.097 ± 0.579c	-0.05
60	253.5 ± 30.40b	-0.277	3399.2 ± 108.1a	-0.048	23.72 ± 2.38a	-0.004	6.347 ± 0.285b	0.321
90	222.9 ± 41.48b	-0.365	3129.4 ± 68.2a	-0.123	44.13 ± 10.72a	0.46	7.852 ± 0.597a	0.451

注: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列指标不同字母表示处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )

Notes: The data in the table is average value ± standard deviation, different letters in the same precedence indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

表 3 不同量杨树凋落叶在土壤中分解对生菜渗透调节物质的影响

Table 3 The effects of decomposed *Populus* leaf litter on osmoregulation substance of *Lactuca sativa*

处理 Treatment	可溶性糖含量 Content of SS		可溶性蛋白含量 Content of SP	
	测定值 Observation ( $\mu mol/g FW$ )	化感指数 (RI)	测定值 Observation ( $\mu g/mg FW$ )	化感指数 (RI)
0(CK)	0.699 ± 0.153b	—	0.448 ± 0.0146a	—
30	1.287 ± 0.188a	0.46	0.327 ± 0.0217b	-0.263
60	1.420 ± 0.179a	0.508	0.213 ± 0.031c	-0.52
90	1.252 ± 0.185a	0.442	0.201 ± 0.053c	-0.546

注: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列指标不同字母表示处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )

Notes: The data in the table is average value ± standard deviation, different letters in the same precedence indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

#### 2.4 蒸煮后杨树凋落叶在土壤中对生菜生长的影响

由图 1 可知, 在平行试验中, 50 d 时生菜株高、生物量各处理之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 同时通过观察发现, 生长期各处理之间生长指标无明显

差异, 表明经过浸泡蒸煮处理后杨树凋落叶对生菜生长影响不明显, 表明在本实验所涉及的凋落叶处理量范围内, 其对土壤通气透水性等物理性质造成的影响不大, 而其释放的次生代谢物质, 即化感物质才是抑制生菜生长的主要原因。

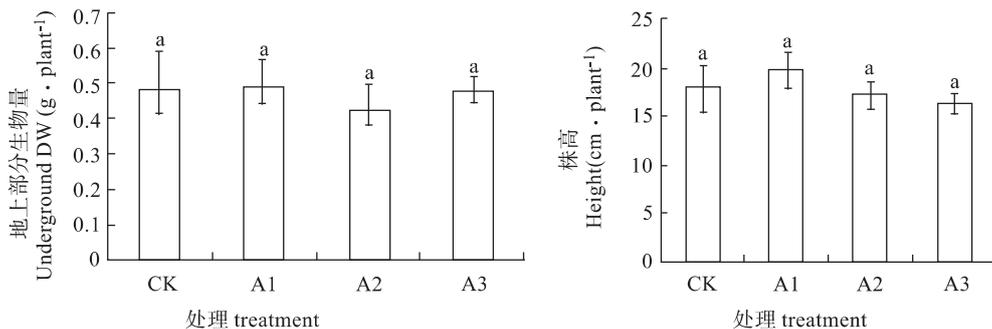


图 1 不同量蒸煮杨树凋落叶在土壤中腐解过程对生菜株高、生物量的影响

Fig. 1 Effects of the leaf litter treated by different stewing of *Populus* on height and biomass in the decomposition process of litter in soil

### 3 讨论

#### 3.1 杨树凋落叶对生菜抗性生理的影响

细胞酶促系统反映植物细胞内氧自由基产生和清除之间的平衡, 植物处于逆境条件下, 活性氧 (ROS) 产生加快, 而以 SOD、CAT 为主的保护酶防御系统遭到破坏, 清除氧自由基的能力下降, 致使活

性氧在体内积累。ROS 在细胞中引起生物膜脂膜脂化和膜脂过氧化作用, 加速膜蛋白链式聚合反应, 使细胞膜系统产生变形, 积累许多有毒害的过氧化产物如丙二醛等<sup>[19-21]</sup>。为减轻和防止活性氧损伤, 植物通过多年进化已形成复杂的氧化应激机制。目前了解较清楚的是细胞通过酶促, 如 SOD 可将  $O_2^{\cdot -}$  歧化为  $H_2O_2$ , 再由 POD、CAT 将  $H_2O_2$  分解为  $H_2O$  和  $O_2$ <sup>[22, 23]</sup>。

本研究中,  $A_1$  处理与 CK 相比, 各种酶活性变化不大, MDA 含量也与 CK 无明显差异, 说明受体的膜脂并未受到伤害。这与陈向明<sup>[24]</sup> 等用山核桃外果皮黄酮提取液处理小麦 (*Triticum aestivum*) 和绿豆 (*Vigna radiate*) 幼苗所发现的化感效应相似。但与彭晓邦<sup>[25]</sup> 利用核桃叶水浸液作用于桔梗 (*Platycodon grandiflorus*) 试验所得到的低促高抑结果不同。本试验中低处理量对受体植物未造成显著影响, 可能是因为短时间内土壤中杨树凋落叶分解释放的养分对受体植物生长的促进作用与其产生化感作用相互抵消或超过了化感作用所致。

$A_2$  和  $A_3$  处理中, SOD 活性受到抑制, MDA 明显增加, 可能是植物体内的抗氧化酶系统发生了紊乱, 产生了较多的  $H_2O_2$ , 但因 CAT 活性提高未达到显著水平, 逆境产生的较多的  $H_2O_2$  不能被完全清除, 而在细胞内积累并可能转化为毒性更强的  $\cdot OH$ 。这些活性氧直接攻击生物大分子, 使酶活性丧失, 尤其是与清除自由基活性氧有关的 POD<sup>[26, 27]</sup>, 引起 ROS 增加, 进使 MDA 含量显著升高, 导致膜质受到伤害, 影响受体植物正常生长, 这与生物量和株高的结果一致。翟梅枝<sup>[28]</sup> 等利用核桃青皮中的低极性组分对几种植物种子萌发及幼苗生长的影响所得到的结果也发现高处理会抑制受体生长。同时这与王道金<sup>[29]</sup> 等通过根部浸提液的生物测定的研究研究发现的高抑现象一致。

### 3.2 杨树凋落叶对生菜渗透调节物质的影响

可溶性糖 (SS) 是植物生长发育和基因表达的重要调节因子, 它不仅是能量来源和结构物质, 而且在信号转导中具有类似激素的初级信使作用。糖能够以类似植物激素方式作为一种信号分子存在, 在植物的生长、发育、成熟和衰老等许多过程中发挥调控作用<sup>[30]</sup>。

在本试验中, 受土壤中杨树凋落叶分解影响, 生菜体内 SS 显著升高 ( $P < 0.05$ )。这可能是杨树凋落叶分解释放的化感物质诱导植物体产生更多的类似激素的糖类所致, 也可能是化感胁迫导致了细胞内大分子糖类、蛋白质降解, 转化为蔗糖、葡萄糖等小分子可溶性糖。尚玲玲<sup>[31]</sup> 等用行道树落叶提取物对黄瓜 (*Cucumis sativus*) 的化感效应, 所测得 SS 变化趋势与本研究结果相似; 王倩等<sup>[32]</sup> 也认为化感物质会影响植物体内 SS 含量变化。

蛋白质是基因表达的产物, 在生长发育中具有

重要作用。植株体内蛋白质含量变化可能与发育有关, 因此可根据植物可溶性蛋白质 (SP) 含量来体现植物生长状况<sup>[33]</sup>。本试验中受体体内 SP 含量随着凋落叶处理增加逐渐下降, 这与陈洪<sup>[34]</sup> 利用巨桉凋落叶作用于老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 幼苗试验, 以及黄微微<sup>[35]</sup> 利用银木凋落叶作用于小白菜 (*Brassica rapa*) 试验结果变化相似。但与田楠<sup>[36]</sup> 等用种林 (果) 粮间作树种枯落叶分解对玉米 (*Zea mays*) 的化感效应所得结果不同, 本实验中 SP 含量下降可能是胁迫促进了蛋白水解酶的活性, 加强了原有蛋白质分解; 也可能是蛋白质合成的相关细胞器受到损伤, 抑制了新蛋白的合成; 或者是因为化感物质妨碍受体根系对矿质离子吸收, 导致蛋白质合成所需元素如 P、S、Fe 亏缺。

### 3.3 结论

随着杨树凋落叶处理量加大,  $A_2$ 、 $A_3$  处理中生菜生长受到了显著的抑制。因此, 以生物量作为衡量经济效益的重要指标来看, 高凋落叶处理量的化感作用严重抑制生菜生物量积累。在林下凋落叶过多的情况下应该适当清除凋落叶后再进行种植。

另外, 本研究在一定程度模拟了自然状态下凋落叶分解及其产生的化感效应, 但并不能完全反映自然状况, 况且杨树对林下植物产生化感作用并非只有凋落叶分解这一条途径, 其根系分泌物对生菜有何影响, 以及杨树叶化感物质在土壤中分解是否与微生物有关, 这些都还需进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 平晓燕, 王铁梅, 卢欣石. 农林复合系统固碳潜力研究进展 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(1): 80~92.
- [2] 杨修. 农林复合经营在农村可持续发展中的地位和作用 [J]. 农村生态环境, 1996, 12(1): 37~41.
- [3] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 论农业持续发展中的化感作用 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 633~635.
- [4] 万开元, 陈防, 余常兵, 等. 杨树-农作物复合系统中的化感作用 [J]. 生态科学, 2005, 24(1): 57~60.
- [5] 郑曦, 魏磊, 朱峰. 杨树叶水提物对 3 种农作物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(9): 1822~1823.
- [6] 王德芝, 张维梅, 袁玉欣, 等. 中林-46 杨他感作用初探 [J]. 河北林果研究, 2000, 15(1): 1~5.
- [7] 祝心如, 王大力. 苹果、杨树等林木根系浸取物对小麦生长的潜在影响 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(3): 226~233.
- [8] 万开元, 陈防, 陶勇, 等. 杨树对苜蓿的化感作用 [J]. 东北林业大学学报, 2009, (1): 1~4.
- [9] 赵勇, 陈桢, 王科举, 等. 泡桐、杨树叶水浸液对作物种子萌发

- 的化感作用[J]. 农业工程学报, 2010, 10: 400 ~ 405.
- [10] 刘伟伟, 石登荣, 刘庆春. 农家乐生态旅游发展与环境保护博弈分析环境科学与管理[J]. 环境科学与管理, 2009(8): 26 ~ 28.
- [11] 廖周瑜, 赵则海, 侯玉平. 五爪金龙对薇甘菊的化感效应研究[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 939 ~ 943.
- [12] 孔垂华, 胡飞. 旅游干扰对青山湖风景区植物多样性的影响[J]. 植物生态学报, 1997, 21(2): 191 ~ 196.
- [13] 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.
- [14] Giannopolitis C N, Roes S K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in high plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59: 309 ~ 314.
- [15] 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: 126 ~ 128.
- [16] 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.
- [17] Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra*) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.) [J]. Crop Protection, 2003, 22: 673 ~ 677.
- [18] Williamson G B, Richardson A D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Chin. J. Chem. Ecol. 1998, 14(1): 181 ~ 182.
- [19] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学(第二版). 北京: 科学出版社, 1998: 721 ~ 738.
- [20] 周凯, 郭维明, 王智芳, 等. 菊花不同部位及根际土壤水浸液处理对光合作用的自毒作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 318 ~ 322.
- [21] Dare K S C, Oberley T D, MouseandH K, et al. ExPression of mangan esesu Peroxide dismutase Promotese ellular differentiation [J]. FreeRad. Biol. Med, 1994, 1: 275 ~ 282.
- [22] 李海波, 孔垂华. 水稻和稗草共生土壤微生物生物量碳及酶活性的变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2234 ~ 2238.
- [23] 赵华, 谷岩, 孔垂华. 水稻化感品种对土壤微生物的影响[J]. 生态学报, 2006, 8(8): 2270 ~ 2273.
- [24] 陈向明, 马云飞. 山核桃外果皮黄酮提取液对小麦和绿豆幼苗的化感效应[J]. 西北植物学报, 2010, 30(4): 0645 ~ 0651.
- [25] 彭晓邦, 闫红安, 张硕新, 等. 核桃叶水浸液对不同产地桔梗的化感效应[J]. 西北农业学报, 2011, 20(9): 143 ~ 149.
- [26] 俞英, 郭水良, 陈建华. 四种苔藓植物提取液对二种蓼科植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 广西植物, 29(4): 518 ~ 521.
- [27] 杨盛昌, 中须贺常雄, 林鹏. 光强对秋茄幼苗的生长和光合特性的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 3: 242 ~ 247.
- [28] 翟梅枝, 朱天慧, 贾彩霞. 核桃青皮中的低极性组分对几种植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 156 ~ 159.
- [29] 王道金, 余诚棋, 季琳琳, 等. 5种药用植物光响应曲线及其根部浸提液的生物测定[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(1): 23 ~ 27.
- [30] 吴学红, 高杰. 洋葱春化处理及可溶性糖和可溶性蛋白质变化规律的研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 13(2): 294 ~ 299.
- [31] 尚玲玲, 朱秋颖, 曹玲, 等. 行道树落叶提取物对黄瓜的化感效应[J]. 中国蔬菜, 2012(12): 67 ~ 71.
- [32] 王倩, 孙会军, 孙令强. 化感物质及作用机理[J]. 中国蔬菜, 2005(增刊): 70 ~ 74.
- [33] 李寿田, 周健民, 王火焰, 等. 植物化感作用研究概况[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 68 ~ 70.
- [34] 陈洪, 胡庭兴, 杨万勤, 等. 巨桉凋落叶分解初期对老芒麦幼苗生长和抗性生理的影响[J]. 草业学报, 2011, 10: 57 ~ 65.
- [35] 黄激激, 胡庭兴, 张念念, 等. 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3883 ~ 3891.
- [36] 田楠, 刘增文, 时腾飞, 等. 种林(果)粮间作树种枯落叶分解对玉米的化感效应[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 1000 ~ 1008.