

唐璇,龙明华,乔双雨,等. 不同种类蔬菜幼苗对多环芳烃胁迫的生理反应[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):166-170.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.040

# 不同种类蔬菜幼苗对多环芳烃胁迫的生理反应

唐璇<sup>1</sup>, 龙明华<sup>1</sup>, 乔双雨<sup>1</sup>, 李朋欣<sup>1</sup>, 张会敏<sup>1</sup>, 梁勇生<sup>1,2</sup>

(1. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 2. 广西南宁市蔬菜研究所, 广西南宁 530000)

**摘要:**为了探索多环芳烃对蔬菜幼苗生长和生理特性的影响。分别以 0.3、0.6、0.9 mg/L 等不同浓度的 16 种多环芳烃对黄瓜、菜心、萝卜进行胁迫培养,以不加多环芳烃的幼苗为对照,研究多环芳烃胁迫下各蔬菜幼苗的生长和生理响应。结果表明,黄瓜的叶宽、鲜质量、CAT 活性、POD 活性以及萝卜的叶绿素 b 含量、CAT 活性在 0.3 mg/L PAHs 处理时达到最小值。处理浓度为 0.6 mg/L 时,黄瓜的 POD 活性、菜心的维生素 C 含量和萝卜的 MDA 含量最小。黄瓜的干质量、菜心的鲜质量以及萝卜的鲜质量、POD 活性在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最小值。不同浓度的 PAHs 处理对黄瓜和菜心叶片叶绿素的合成和光合作用以及萝卜的维生素 C 含量均有促进作用。随着 PAHs 处理浓度的升高,黄瓜和菜心的 MDA 含量呈上升趋势,在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最大值。不同种类蔬菜幼苗对 PAHs 具有不同生理反应的原因之一,可能与它们叶片结构的不同导致吸收 PAHs 量的差异有关。

**关键词:**多环芳烃;蔬菜幼苗;生长;生理生化

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0166-04

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, 简称 PAHs) 是一类由 2 个或 2 个以上经过高温裂解得到的苯环以直链状、角状或者簇状排列组成的稠环化合物,具有疏水性及低水溶性,易吸附于固体颗粒表面,能长期存在于环境中,是一种持久性有机污染物<sup>[1-3]</sup>。1976 年美国环保局 (USEPA) 提出的 129 种“优先污染物”(priority pollutants)的黑名单中,有 16 种是 PAHs 类化合物<sup>[4-5]</sup>;1990 年,我国国家环境保护总局将 7 种致癌性较强的多环芳烃列入了我国环境优先污染物的黑名单<sup>[6]</sup>。PAHs 在环境中难以降解,由于其具有半挥发性和脂溶性的特点,因而可以通过大气沉降作用经植物叶片进入植物体内或进入土壤中由植物根系吸收,并在植物体内迁移、代谢和积累,进而通过食物链危害到人类身体健康<sup>[7]</sup>。PAHs 进入植物体的途径主要有 2 种:土壤-植物途径和空气-植物途径<sup>[8-9]</sup>。有报道认为,这种空气-植物体的吸收途径是植物吸收 PAHs 的主要途径<sup>[10-11]</sup>,影响这种吸收途径的因素包括空气中 PAHs 的浓度、PAHs 的性质、PAHs 在空气中的存在形态、叶表面的特征及温度等。此外,植物叶表面的形态、表皮蜡质化学成分、气孔数量和分布以及绒毛生长的情况不同,对应植物与空气的相互作用过程也不同<sup>[12]</sup>,且植物吸收 PAHs 的速率与植物本身的适应性及 PAHs 的生物有效性成正比<sup>[13]</sup>。

PAHs 污染是全球面临的一个紧迫的环境问题,由于其具有致癌、致畸、致突变的作用,严重影响人类健康,从而引起

人们的高度重视。环境中的 PAHs 可以在植物体内迁移、代谢、累积,从而影响植物的正常生长,并可在食物链中被逐级放大,影响人类健康。目前,关于 PAHs 的研究主要集中在 PAHs 对环境的污染和 PAHs 污染土壤的治理(生物修复)方面,而关于 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗影响的研究相对较少,本试验研究不同种类蔬菜幼苗对 PAHs 胁迫的生理反应,旨在为进一步探索不同种类蔬菜吸收及富集 PAHs 的特性打下基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 供试品种** F508 油青甜菜心王,由广州市圣吉亚农业科技有限公司生产。白沙短叶 13 号早萝卜,由汕头市白沙蔬菜原种研究所生产。秀川 701 黄瓜,由广州市伟兴利种子有限公司生产。

**1.1.2 供试土壤** 采用基质和黄壤土(体积比 1:8)混合作为试验用土壤。

**1.1.3 多环芳烃混合液的配制** 16 种 PAHs 混合标准品 (10 mg/mL) 购于美国 Sigma-Alorich 公司。16 种多环芳烃分别为萘 (NAP)、苊烯 (ANY)、苊 (FLU)、菲 (PHE)、蒽 (ANT)、荧蒽 (FLT)、芘 (PYR)、苯并(a)蒽 (BaA)、蒽 (CHR)、苯并(b)荧蒽 (BbF)、苯并(k)荧蒽 (BkF)、苯并(a)芘 (BaP)、茚并(1,2,3-c,d)芘 (IPY)、二苯并(a,h)蒽 (DBA)、苯并(g,h,i)二萘嵌苯 (BPE)、苯并(e)芘 (BeP)。

分别吸取一定体积的多环芳烃混合液于 500 mL 的丙酮溶液中,配成 0.3、0.6、0.9 mg/L 浓度的多环芳烃混合液,并放入 4℃ 冰箱保存备用。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 试验于 2017 年 7 月 11 日至 10 月 20 日于广西大学农学院蔬菜基地温室大棚内进行。本试验采用穴盘育苗,待幼苗长至 2 叶 1 心时,移栽于长 60 cm、宽 45 cm、

收稿日期:2017-12-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31360479);国家现代农业产业技术体系广西大宗蔬菜创新团队建设项目(编号:nycytxgxttd-10-03);广西自然科学基金(编号:2014GXNSFAA118100)。

作者简介:唐璇(1993—),女,广西来宾人,硕士研究生,研究方向为环境调控与蔬菜栽培生理。E-mail:532078435@qq.com。

通信作者:龙明华,博士,教授,主要从事蔬菜育种及农产品质量安全研究。E-mail:longmhua@163.com。

高 30 cm 的泡沫箱中,每箱种 9 株。移栽 3 d 后,用不同浓度的 PAHs 混合液对幼苗叶片进行涂抹处理,以未作处理的蔬菜幼苗为对照。每隔 3 d 处理 1 次,共处理 3 次。每个处理设 3 个重复。

1.2.2 指标测定 生长指标的测定:第 3 次处理后的第 3 天进行株高、叶长和叶宽、鲜质量和干质量的测定。每处理设 3 个重复。之后采取幼苗的地上部分带回实验室,用水清洗叶片表面并用滤纸吸干表面水分,进行称量。称好质量后,用锡箔纸包好,并用液氮迅速冷却后,放入 - 40 ℃ 冰箱中保存备用。

生理指标的测定:叶绿素含量采用丙酮提取法<sup>[14]</sup>测定;维生素 C 含量采用 2,6 - 二氯酚酚滴定法<sup>[15]</sup>测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定;过氧化物酶(POD)活性采用氧化愈创木酚法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法<sup>[16]</sup>测定。每个处理设 3 个重复。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2013 进行计算并制图,采用 SPSS

17.0 进行单因素方差分析,采用最小显著差数法( $P < 0.05$ , Duncan's)进行不同处理间均值的差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗生长的影响

从表 1、表 2 和表 3 可以看出,各 PAHs 处理之间以及各 PAHs 处理与对照之间的蔬菜幼苗株高差异不显著。对照处理的黄瓜幼苗叶长、鲜质量和干质量显著高于各 PAHs 处理,但各 PAHs 处理之间无显著差异。黄瓜的叶宽与鲜质量在低浓度 PAHs 处理下达到最小值,随着 PAHs 处理浓度的增高呈现上升的趋势,0.6、0.9 mg/L PAHs 处理较 0.3 mg/L PAHs 处理分别上升了 13.36%、18.19% 和 9.98%、19.57%;干质量随着 PAHs 浓度的增加逐渐减小,0.3、0.6、0.9 mg/L PAHs 处理分别较对照处理下降了 34.25%、36.46%、38.12%。菜心与萝卜的叶宽和干质量各处理间均无显著差异。菜心和萝卜在高浓度处理下鲜质量最小,但菜心在对照处理时鲜质量最大,而萝卜在中浓度 PAHs 处理下鲜质量最大。

表 1 PAHs 对黄瓜幼苗生长的影响

PAHs 浓度 (mg/L)	株高 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	鲜质量 (g)	干质量 (g)
0	36.33 ± 0.96a	10.77 ± 0.40a	12.47 ± 0.46a	20.47 ± 2.44a	1.81 ± 0.26a
0.3	34.13 ± 3.67a	9.33 ± 0.29b	9.73 ± 0.78b	12.52 ± 1.29b	1.19 ± 0.12b
0.6	33.80 ± 3.34a	9.67 ± 0.31b	11.03 ± 1.08ab	13.77 ± 0.55b	1.15 ± 0.10b
0.9	31.47 ± 1.45a	9.40 ± 0.35b	11.50 ± 0.87a	14.97 ± 0.31b	1.12 ± 0.05b

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 2 PAHs 对菜心幼苗生长的影响

PAHs 浓度 (mg/L)	株高 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	鲜质量 (g)	干质量 (g)
0	13.17 ± 1.04a	9.57 ± 0.40a	5.67 ± 0.58a	6.60 ± 0.89a	0.46 ± 0.05a
0.3	13.00 ± 1.00a	8.73 ± 0.64a	5.60 ± 0.36a	5.74 ± 0.65ab	0.45 ± 0.08a
0.6	12.33 ± 1.53a	8.87 ± 0.42a	5.37 ± 0.55a	6.24 ± 0.85a	0.44 ± 0.08a
0.9	13.17 ± 0.29a	9.10 ± 0.26a	4.80 ± 0.62a	4.76 ± 0.09b	0.40 ± 0.04a

表 3 PAHs 对萝卜幼苗生长的影响

PAHs 浓度 (mg/L)	株高 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	鲜质量 (g)	干质量 (g)
0	14.33 ± 0.58a	7.33 ± 0.76a	4.07 ± 0.55a	4.73 ± 0.86ab	0.41 ± 0.21a
0.3	13.27 ± 1.62a	8.20 ± 0.50a	3.53 ± 0.59a	4.66 ± 1.09ab	0.31 ± 0.05a
0.6	13.97 ± 1.84a	8.07 ± 0.93a	3.80 ± 0.30a	5.39 ± 0.10a	0.41 ± 0.04a
0.9	15.33 ± 0.58a	7.43 ± 0.51a	3.20 ± 0.17a	3.88 ± 0.31b	0.28 ± 0.01a

2.2 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗叶绿素含量的影响

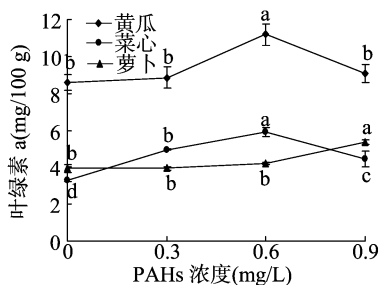
从图 1、图 2 和图 3 可以看出,在 0.6 mg/L PAHs 处理下,黄瓜和菜心的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量最大。黄瓜的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量在 0.3、0.9 mg/L PAHs 处理和对照处理之间无显著差异。菜心的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素在对照处理下含量最小。萝卜的叶绿素 a、总叶绿素在 0.9 mg/L PAHs 处理下含量最高,其他处理和对照处理无显著性差异。萝卜的叶绿素 b 含量在对照处理下最大,其他处理之间无显著性差异。表明 0.6 mg/L PAHs 处理对黄瓜和菜心的叶绿素含量有促进作用,0.9 mg/L PAHs 处理对萝卜的叶绿素含量有促进作用。

2.3 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗丙二醛含量的影响

从图 4 可以看出,黄瓜和菜心的丙二醛含量随着 PAHs 处理浓度的增加呈现逐渐上升的趋势,0.3、0.6、0.9 mg/L PAHs 处理分别较对照处理上升了 51.85%、96.86%、120.24% 和 0.38%、6.98%、20.17%。萝卜的丙二醛含量在 0.6 mg/L PAHs 处理下最小,其他处理之间均无显著差异。结果表明,PAHs 中低浓度胁迫下,黄瓜和菜心的膜系统能正常工作,高浓度 PAHs 胁迫下其膜脂过氧化作用加强,膜透性增加。

2.4 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗维生素 C 含量的影响

从图 5 可以看出,在对照和各浓度 PAHs 处理下,黄瓜的



图中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同

图1 不同处理浓度对蔬菜幼苗叶绿素 a 含量的影响

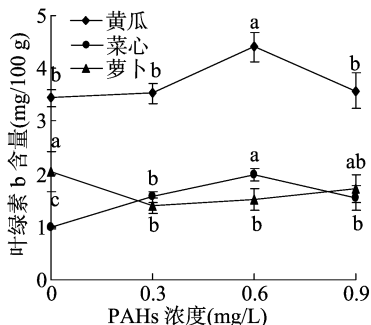


图2 不同处理浓度对蔬菜幼苗叶绿素 b 含量的影响

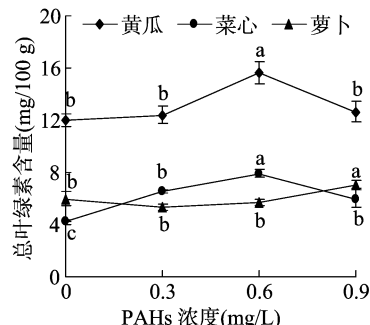


图3 不同处理浓度对蔬菜幼苗总叶绿素含量的影响

维生素 C 含量均无显著性差异。在 0.9 mg/L PAHs 处理下,菜心的维生素 C 含量达到最大值,在 0.6 mg/L PAHs 处理下,维生素 C 的含量最小。在 0.6 mg/L PAHs 处理下,萝卜的维生素 C 含量达到最大值,对照处理的维生素 C 含量最小。结果表明,高浓度的 PAHs 处理对菜心的维生素 C 含量有明显的促进作用,中浓度的 PAHs 处理对菜心的维生素 C 含量有明显的抑制作用。各浓度的 PAHs 处理对萝卜的维生素 C 含量均有明显的促进作用,其中中浓度 PAHs 处理对萝卜的促进作用最显著。

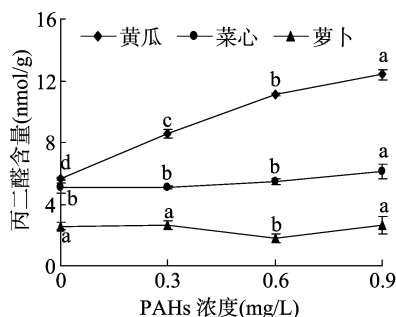


图4 不同处理浓度对蔬菜幼苗丙二醛含量的影响

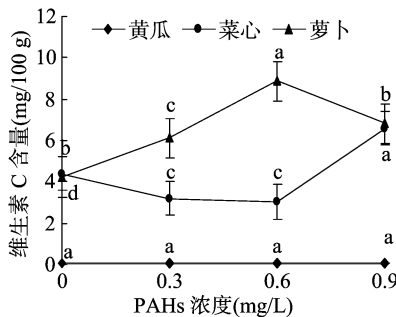


图5 不同处理浓度对蔬菜幼苗维生素 C 含量的影响

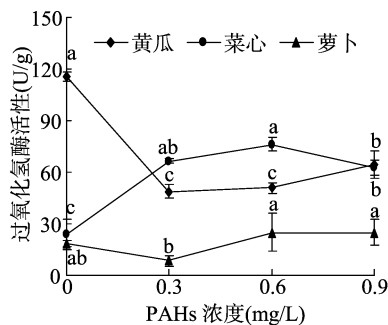


图6 不同处理浓度对蔬菜幼苗 CAT 活性的影响

## 2.6 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗 POD 活性的影响

从图 7 可以看出,0.9 mg/L PAHs 处理对黄瓜的 POD 活性有显著的促进作用,0.6 mg/L PAHs 处理对黄瓜的 POD 活性有显著的抑制作用。0.3、0.9 mg/L PAHs 处理对菜心的 POD 活性有显著的抑制作用,0.6 mg/L PAHs 处理对菜心的 POD 活性有显著的促进作用。0.6 mg/L PAHs 处理对萝卜的 POD 活性有显著促进作用,其他处理之间无显著差别。结果表明,不同蔬菜幼苗的 POD 活性对于 PAHs 胁迫有不同的响应。

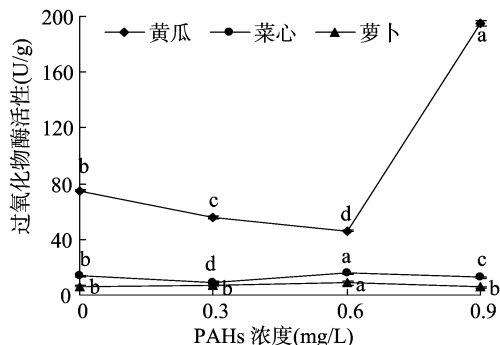


图7 不同处理浓度对蔬菜幼苗 POD 活性的影响

## 2.5 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗 CAT 活性的影响

从图 6 可以看出,0.3、0.6 mg/L PAHs 处理对黄瓜的 CAT 活性有显著的抑制作用,对菜心的 CAT 活性有显著的促进作用。0.3 mg/L PAHs 处理对萝卜的 CAT 活性有抑制作用,0.6、0.9 mg/L PAHs 处理对萝卜的 CAT 活性有促进作用,但作用不显著。结果表明,黄瓜的 CAT 活性对中低浓度的 PAHs 较为敏感,萝卜在 PAHs 胁迫处理下还可以维持较好的清除自由基能力。

## 3 结论与讨论

### 3.1 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗生长的影响

在不同浓度 PAHs 处理下,供试蔬菜幼苗的生长受到不同程度的影响。黄瓜的叶宽和鲜质量在 0.3 mg/L PAHs 处理时达到最小值,分别比对照处理减少了 21.97% 和 38.84%;随着 PAHs 处理浓度的增大数值略微增加,但都比对照处理小。黄瓜的干质量随着 PAHs 处理浓度的增加逐渐减小,在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最小值,比对照处理减少了 38.12%。菜心的鲜质量随着 PAHs 处理浓度的处理增加先增后减,在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最小值,比对照处理减少了 27.88%。与对照相比,萝卜的鲜质量随着 PAHs 处理浓度的增加先减后增再减,在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最小值,比对照处理减少了 17.97%。由结果可知,供试的 3 种蔬菜幼苗生长发育受 PAHs 危害大小的顺序为黄瓜 > 菜心 > 萝卜。

### 3.2 PAHs 胁迫对蔬菜幼苗生理生化指标的影响

不同浓度的 PAHs 处理对黄瓜和菜心叶片叶绿素的合成和光合作用均有刺激作用。在 0.3 mg/L PAHs 处理下,萝卜的叶绿素 b 含量达到最小值,比对照处理减少了 31.80%。

随着 PAHs 处理浓度的增加萝卜的叶绿素 b 含量逐渐增加,但都比对照小。结果表明,PAHs 处理对萝卜的叶绿素 b 含量有抑制作用。不同浓度的 PAHs 处理对萝卜的维生素 C 含量有促进作用;在 0.6 mg/L PAHs 处理下,菜心的维生素 C 的含量达到最小值,比对照减少了 31.14%;随着处理浓度的增加维生素 C 的含量先减少再增加,在 0.9 mg/L 处理下高于对照。结果表明,中低浓度的 PAHs 处理对萝卜的维生素 C 的含量有抑制作用。丙二醛(MDA)是生物膜系统膜脂过氧化的产物之一,其在植物体内的含量可反映机体内脂质过氧化的程度并间接反映细胞受损的程度,植物在受到外界因素的胁迫时,MDA 的含量会增加,膜受到的损伤会随之增大<sup>[17]</sup>。随着 PAHs 处理浓度的升高,黄瓜和菜心的 MDA 含量呈上升趋势,在 0.9 mg/L PAHs 处理下达到最大值,分别比对照处理增加了 120.24% 和 20.17%。PAHs 处理浓度为 0.6 mg/L 时,萝卜的 MDA 含量低于对照,这可能是由于中浓度的 PAHs 对萝卜的正常应激性机制有一定伤害,导致 MDA 含量降低。结果表明,PAHs 的高浓度处理胁迫会引起黄瓜和菜心的脂质过氧化。

酶活性是植物在 PAHs 胁迫下较为敏感的生理指标,黄瓜和萝卜的 CAT 活性对低浓度的 PAHs 处理有一定的应激性反应,均在 0.3 mg/L PAHs 处理下达到最小值,分别比对照处理降低了 57.68% 和 54.06%。在 0.3 mg/L PAHs 处理下菜心的 POD 活性达到最小值,比对照处理降低了 30.13%。在 0.6 mg/L PAHs 处理下黄瓜的 POD 活性达到最小,比对照处理降低了 38.27%。在 0.9 mg/L PAHs 处理下,萝卜的 POD 活性达到最小值,比对照处理降低了 13.13%。结果表明,黄瓜和萝卜 CAT 活性以及菜心的 POD 活性对低浓度的 PAHs 处理较为敏感,黄瓜的 POD 活性对中浓度的 PAHs 处理较为敏感,萝卜的 POD 活性对高浓度的 PAHs 处理较为敏感。

叶片吸收 PAHs 的速率受叶片比表面积的影响很大。Schrelber 等对 5 种针叶植物吸收 PAHs 速率的研究表明,不同植物的吸收速率与比表面积具较好的相关性,同一环境下叶片的比表面积差异导致其吸收速率可能相差一个数量级<sup>[18]</sup>。叶片吸收积累 PAHs 的能力与叶片表面粗糙程度或绒毛疏密程度有较好的相关性。一方面有茸毛的植物叶片更能吸附空气中的颗粒污染物,密集的茸毛可以阻止小水滴接触叶片的蜡质表层,从而防止它们带走叶片表面附着的颗粒物<sup>[19]</sup>。Howsam 等对同一环境中榛树、栲树和橡树进行对比研究,发现绒毛细密的榛树叶片中的 PAHs 浓度比绒毛稀疏的栲树、橡树叶片高 1 倍<sup>[20]</sup>。另一方面,叶片有排水的生理现象,这样会消除一部分叶片上滞留的颗粒物。黄勇发现,樟树、桂花、广玉兰、红榿木 4 个树种叶片解剖结构与富集 PAHs 能力的相关关系均达到显著水平,其中栅栏组织厚度、海绵组织厚度和叶片总厚度与叶片 PAHs 含量呈负相关关系,叶片栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片总厚度越薄,越方便气态和颗粒态进入,吸附量也越多,对气态和颗粒态 PAHs 产生较强的富集作用;而种间其他叶片结构与叶片 PAHs 含量间相关关系不显著,可能是因为生理特性的差异,表现为某些结构上的差异对吸附不敏感,如有的角质层可能较难穿透、不同植物间气孔能力不一致、不同树种叶片气孔对粒径的选择不一致等<sup>[21]</sup>。Barber 等研究发现,角质层较难穿透且气孔密度较

高时,气孔吸收途径相对重要,而当角质层极易穿透时,气孔的作用几乎为零<sup>[22]</sup>。由此可知,不同种类蔬菜幼苗对 PAHs 具有不同的生理反应的原因之一,可能与它们叶片结构的不同导致吸收 PAHs 量的差异有关。

## 参考文献:

- [1] 李玉龙. 土壤中多环芳烃的迁移转化规律及其对植物生长的影响[D]. 西安:西安建筑科技大学,2015.
- [2] Hadibarata T, Kristanti R A. Fate and cometabolic degradation of benzo[a]pyrene by white-rot fungus *Armillaria* sp. F022[J]. *Bioresource Technology*, 2012, 107: 314-318.
- [3] Quilliam R S, Rangecroft S, Emmett B A, et al. Is biochar a source or sink for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) compounds in agricultural soils? [J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2013, 5(2): 96-103.
- [4] Keith L H, Telliard W A. Priority pollutants I. A perspective view [J]. *Environmental Science and Technology*, 1979, 13(4): 416-423.
- [5] Carmichael L M, Christman R F, Pfaender F K. Desorption and mineralization kinetics of phenanthrene and chrysene in contaminated soils [J]. *Environmental Science and Technology*, 1997, 31(1): 126-132.
- [6] 刘魏魏. 多环芳烃污染农田土壤的生物协同修复及有机废物调控强化修复技术[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [7] 殷婧, 夏忠欢, 周彦池, 等. 临汾市售蔬菜中多环芳烃污染特征及致癌风险分析[J]. *生态毒理学报*, 2016, 11(3): 265-271.
- [8] Cobbett C S, Meagher R B. *Arabidopsis and the genetic potential for the phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants* [J]. *The Arabidopsis Book*, 2002, 1: e0032.
- [9] Harvey J, Campanella B F, Castro P M L, et al. Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons, anilines and phenols [J]. *Environmental Science Pollution Research International*, 2002, 9(1): 29-47.
- [10] Wild S R, Jones K C. The significance of polynuclear aromatic hydrocarbons applied to agricultural soils in sewage sludges in the UK [J]. *Waste Management and Research*, 1994, 12(1): 49-59.
- [11] Horstmann M, Melachlan M S. Atmospheric deposition of semivolatile organic compounds to two forest canopies [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, 32(10): 1799-1809.
- [12] Trapp S, McFarlane J C. Plant contamination: modeling and simulation of organic chemical process [M]. Boca Raton: Lewis, 1995: 254.
- [13] Xu S Y, Chen Y X, Wu W X, et al. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 363(1/2/3): 206-215.
- [14] 张志良, 瞿伟菁, 李小芳. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [15] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [16] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [17] Tewari R K, Kumar P, Sharma P N. Magnesium deficiency induced oxidative stress and antioxidant responses in mulberry plants [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108(1): 7-14.
- [18] Schrelber L, Schonherr J. Uptake of organic chemicals in conifer

李俊强,林利华,张帆,等.施肥模式对茶叶营养累积及土壤肥力的影响[J].江苏农业科学,2019,47(7):170-174.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.041

# 施肥模式对茶叶营养累积及土壤肥力的影响

李俊强<sup>1</sup>,林利华<sup>1</sup>,张帆<sup>2</sup>,万雪琴<sup>2</sup>

(1.宜宾职业技术学院生物与化工系,四川宜宾 644003; 2.四川农业大学农学院,四川成都 611130)

**摘要:**采用连续3年的田间定位试验方法,研究不施肥(CK)、全量化肥(NPK)、半量化肥+半量有机肥(NPKO)、全量有机肥(O)、全量化肥+豆科绿肥(NPKL)和半量化肥+半量有机肥+豆科绿肥(NPKOL)6种不同施肥模式对茶叶营养元素累积及土壤肥力的影响。结果表明,(1)不同施肥模式对茶叶的营养生长均起到了显著的促进作用,不同施肥模式均显著提高了叶芽密度、叶芽长度和年产量,基本表现为 NPKOL > NPKL > NPKO > NPK > O > CK,其中以 NPKOL 施肥模式提高最为显著。(2)与对照(不施肥)相比,其他几种不同施肥模式提高了茶园土壤的基本肥力(有机碳、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效氮和有效钾含量),而显著降低了土壤 pH 值。(3)不同施肥模式均在一定程度上增加了水浸出物、茶多酚、咖啡碱和游离氨基酸含量,大致表现为 NPKOL > NPKL > NPKO > NPK > O > CK,并且不同施肥模式下水浸出物、茶多酚、咖啡碱和游离氨基酸均显著高于对照,同时增加了茶叶中氮、磷和钾养分累积量,其中 NPKOL 施肥模式试验效果最佳。主成分分析表明,茶多酚、氮积累量、pH 值、有机碳和全氮是影响茶叶年产量最主要的影响因子,其荷载值(绝对值)分别达到了 0.803、0.793、0.736、0.823、0.775。(4)NPKOL 施肥模式的茶叶产量和茶叶营养物质累积量最大,进一步佐证了此培肥模式能促进茶产量,值得在茶园施肥过程中进一步推广应用。

**关键词:**施肥模式;茶叶产量;营养累积;土壤肥力

**中图分类号:** S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0170-05

我国幅员辽阔,是传统的农业大国,不仅农作物种植面积广,作物种类繁多,且南北方因地域差异而具有不同的经济作物<sup>[1]</sup>;我国南方多丘陵山地,茶树广泛分布,且成为当地主要的经济来源之一。近些年来,在生活水平日益提升的情况下,人们对茶叶的需求也日益增加,在此情况下,茶树的种植面积明显增多<sup>[2-3]</sup>。

我国是少有的大面积种植茶树的国家,但是近些年来随着土壤肥力的下降,大量的化肥在茶树种植中使用,不合理的施肥不仅大大降低了茶的品质,长远来看不利于土壤肥力和活力的保持<sup>[4]</sup>。施肥在茶树种植中尤为重要,直接关乎茶叶产量和质量,主要的产茶国不仅有中国,还有印度、斯里兰卡等,通过对这些国家长期的实地调查发现,化肥施用使得茶叶产量提升了近 41%,可见施肥对于茶叶产量提升作用明显<sup>[5-6]</sup>。我国茶叶种植区主要在南方低山丘陵地区,该地区具有明显的红壤特点,有机质含量相对较低,且具有较高的酸

性,容易产生淋失,且没有较高含量的有效氮,而茶树对氮的需求较为明显,这就影响了茶树产量的提升和品质的提高<sup>[7]</sup>;但是如果过度施肥,在成本提升的情况下更容易导致土壤酸化甚至是明显的水污染。施肥是否合理直接关乎肥料的利用效率,更关乎土壤长期肥力和活性的保持及增强,不合理的施肥将破坏土壤理化特性,易形成土壤板结等问题,因此合理施肥尤为重要。研究发现,在长期单一施用化肥的情况下,土壤更容易板结、酸化,形成明显的营养不均衡<sup>[8-9]</sup>,化肥和有机肥的合理结合才能发挥肥料的效率,弥补我国南方红壤有机质含量低等不足。为了有效降低不合理施肥造成的土壤板结等问题,促进茶叶生产可持续发展,开展合理的茶园培肥尤为重要,这样不仅能够有效提升肥料的利用效率和质量,还能在增产提质的同时促进土壤肥力和活性的保持,使得茶叶生产和土壤保持具有协调性<sup>[10]</sup>。近些年来,不少学者对茶叶生产和施肥之间的关系展开了大量的实地调查,同时提出了较多的建议和改进方法,这些研究多集中在施用化肥或者有机肥方面,但缺乏长期的观测数据。本研究将从不同施肥模式下探究施肥与茶叶产量、土壤肥力保持之间的关系,并进行连续3年的实地观测研究,从而寻求更合理的施肥方式,以在提升茶叶质量和产量的同时更好地保持土壤肥力和活性,为促进茶产业健康发展提供有益参考和借鉴。

收稿日期:2018-06-25

基金项目:四川省“十三五”科技攻关项目林木新品种选育项目(编号:2016YZGG)。

作者简介:李俊强(1976—),男,四川兴文人,博士,副教授,主要研究方向为植物育种及栽培技术。E-mail:Junqiang\_lii@163.com。

needles; surface adsorption and permeability of cuticles [J].

Environmental Science & Technology, 1992, 26: 153-159.

[19] Little P, Wiffen R D. Emission and deposition of petrol engine exhaust Pb - I. Deposition of exhaust Pb to plant and soil surface [J]. Atmos Environ, 1977, 11(5): 437-447.

[20] Howsam M, Jones K C, Meason P. PAHs associated with the leaves of three deciduous tree species: I. Concentrations and profiles [J].

Environmental Pollution, 2000, 108: 413-424.

[21] 黄勇. 城市植物叶片 PAHs 特性及对土壤微生物与酶的影响 [D]. 长沙:中南林业科技大学, 2011.

[22] Barber J L, Kurt P B, Thomas G O, et al. Investigation into the importance of the stomatal pathway in the exchange of PCBs between air and plants [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36: 4282-4287.