

磷肥处理对烤烟生长生理及根系构型的影响^①

贾志红^{1,2,3}, 易建华³, 符建国³, 苏以荣¹

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 湖南中烟工业有限责任公司, 长沙 410007)

摘要: 采用根箱栽培, 研究了高 P、低 P 对烤烟生长生理及根系构型的影响, 结果发现, 烟株生长指标 (株高、茎围、叶重、根重)、生理指标 (烟叶净光合速率、硝酸还原酶活性、烟株根系活力)、根际土壤微生物数量 (细菌、真菌、放线菌) 均为高 P 处理大于低 P 处理。高 P 和低 P 处理烟株根系构型具有各自鲜明的发根特征和侧重点, 高 P 处理根系构型优势在烟株发育后期的第三轮根以及一级侧根, 而低 P 处理根系构型主要优势在第一轮根、第二轮根及总不定根。低 P 处理烟株不定根的生成量超过高 P 处理。

关键词: 施肥; 磷肥处理; 烤烟; 生长生理; 根系构型

中图分类号: S572.101

磷 (P) 是植物生长的必需元素之一, 在植株代谢中至关重要, 光合作用、磷酸化作用之后与 Krebs 循环和 N 代谢有关的重要过程等使 P 成为植物生长中的最基本的元素之一^[1]。在我国南方烟区, 大多数土壤含量较低, 远远不能满足植物正常生长的需要, 土壤缺 P 已成为农业生产发展的主要限制因子之一, 而南方烟区高温多雨更造成养分大量淋失, 同时土壤中 Fe、Al 对 P 进行着强烈固定作用, 极大地降低了 P 的可用性^[2]。国外学者很早就指出施 P 对烟草早期生长的影响比对最终烤后烟叶的产量和品质影响更明显^[1]。近年来, 我国学者进行了不同 P 用量对烤烟生产质量的影响研究, 表明加大 P 肥施用量可以促进烤烟 N 素的吸收和产量, 但一方面过多的 P 肥会使烟叶的厚度增加, 使烟叶品质下降^[3-6], 另一方面, 施 P 量过高会增加 P 素流失的风险, 带来环境污染的压力。

作物 P 效率包括 P 吸收速率和 P 利用能力, 由于 P 在土壤易被固定而难以移动, 植物对土壤中 P 的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效 P。严小龙等^[7-11]对大豆根构型和 P 肥吸收进行了相关研究, 并对大豆主根伸长、侧根和不定根形成机理进行了探讨, 用分子标记等方法选育出大豆 P 高效品种。虽然 P 吸收和根构型相关研究国内外在大豆等作物研究中较多^[2], 但对烤烟根构型的研究却较少。为此, 本文采用高 P 和低 P 两种供 P 水平处理, 研究 P 对烤烟生长生理的影响及根系构型变化, 为今后提高烤烟

肥料利用率研究提供理论依据。

1 材料和方法

试验在中国烟草长沙技术中心 (浏阳) 烟草科学研究所进行, 供试品种为 G80 (*Nicotiana tabacum* L.), 将 G80 包衣种子播于烟草专用育苗漂浮盘中, 置于日光大棚温室营养池中作漂浮培养, 为湖南省烟草专用育苗营养液, 当温度超过 32℃ 时, 揭膜通风, 降温除湿。待第 6 片真叶展开时移植到大田和根箱中。

1.1 根箱试验基本情况及试验设计

根箱长×宽×高为 55 cm×55 cm×50 cm, 根箱 6 个, 每箱定植 1 株, 基质为大田耕作层土壤。土壤基础养分含量为有机质 25.6 g/kg, 速效 N 182.7 mg/kg, 速效 P 36.1 mg/kg, 速效 K 207.9 mg/kg, pH 6.81 (速效 P 和速效 K 含量不是以 P₂O₅ 和 K₂O 表示)。将根箱埋入田中, 两边种保护行, 用条塘施肥法进行施肥, 于烤烟移栽后烤烟主要生育时期调查。移栽期为 3 月 20 日, 现蕾期 5 月 24 日。试验设计为高 P 与低 P 两个处理, 每个处理 3 次重复, 根箱施 N 肥为硝酸铵, 施肥量为纯 N 86.25 kg/hm², K 肥为硫酸钾, 施肥量为纯 K₂O 240 kg/hm², P 肥为过磷酸钙, 高 P 处理为纯 P₂O₅ 157.50 kg/hm², 低 P 处理纯 P₂O₅ 31.50 kg/hm²。

1.2 烟株根系取样及生物量测定方法

根箱中的整株根系取样方法为: 将根箱相对的两侧打开后, 用清水轻轻冲洗去根上的土壤, 再装入 60

①基金项目: 湖南省烟草专卖局重点项目 (K2003002)、湖南中烟工业有限责任公司项目 (2007-YC-001) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSC2-YW-N-48-1) 资助。

作者简介: 贾志红 (1975—), 男, 山西长治人, 农艺师, 博士研究生, 主要从事烟草生理生化研究。E-mail: jiazhh0807@163.com

目尼龙网袋中用清水洗净，于 105℃ 杀青 0.5 h，80℃ 烘干至恒重，每次取样 3 次重复。

1.3 烟叶生理生化指标及土壤微生物数量测定方法

光合测定采用英国 PP Systems 公司生产的自动控光、控温和控 CO₂ 功能的 CIRAS-1 光合系统测定。便携式光合测定仪于自然光强下（光照 > 800 μmol/(m²·s)）选定第 3 叶测定，每处理测定 4 片叶。硝酸还原酶测定采用文献[12]的方法测定。根系活力测定采用 TTC 法，参照白宝璋[13]法。微生物数量采用常规稀释平板法测定，细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基，真菌采用马丁氏培养基+孟加拉红+硫酸链霉素，放线菌采用改良高氏 1 号培养基+重铬酸钾。

2 结果与分析

2.1 高磷低磷处理对烤烟生长发育的影响

P 较 N 素、K 素溶解性差，随着植株的吸收，P 在生长季节里持续不断地释放到土壤中。充足的可溶性 P 能促进烟草幼苗旺盛生长^[14]。由表 1 可知，高 P 和低 P 对烤烟生长的影响，株高、茎围、叶重、根重均为高 P 处理大于低 P 处理，其中最大叶面积高 P 比低 P 处理大 12.5%，达显著水平，叶重高 P 比低 P 处理高 50.0%，达显著水平，茎重、根冠比为高 P 处理小于低 P 处理，没有达显著水平。烤烟根重、根冠比在旺长期低 P 处理比高 P 处理高，这可能与低 P 具有诱导根系生长有关。

表 1 高 P 低 P 处理对烤烟地上部和地下部生长发育的影响(旺长期)

Table 1 Effects of high P and low P on flue-cured tobacco aboveground parts and underground parts

发育指标	高 P	低 P
株高 (cm)	126.0	120.5
最大叶面积 (cm ²)	370.5*	329.4
茎围 (cm)	10.9	10.5
叶重 (g)	147.3*	98.2
茎重 (g)	94.5	107.8
根重 (g)	34.3	38.3
根冠比	0.14	0.18

注：采用成对二样本分析，进行 t 检验，“*”表示差异达到 p<0.05 显著水平 (n=3, df=2)，下同。

2.2 高磷低磷处理对烤烟生长生理特性的影响

P 是烟株体内磷酸腺苷、磷脂、核酸、植素及含磷酸辅酶的重要化合物的组成部分，ATP 借助高能键的存在具有大量的潜在能。当 ATP 水解时，末端的磷

酸根很快脱出，形成 ADP 并释放出热能，促进烟株体内的 C、N 代谢过程和能量代谢及呼吸、光合物质的转化过程顺利进行，对体内能量的供应及贮藏起着重要作用^[15]。由表 2 可知，烟叶净光合速率、硝酸还原酶活性高 P 处理大于低 P 处理，其中净光合速率高 P 比低 P 处理高 12.4%，达显著水平，烟株根系活力高 P 大于低 P 处理 11.8%，达显著水平。

表 2 高 P 低 P 处理对烤烟生理特性的影响(旺长期)

Table 2 Effects of high P and low P on flue-cured tobacco physiological characteristics

生理指标	高 P	低 P
净光合效率 (μmol/(m ² ·s))	23.50*	20.90
硝酸还原酶活性 (NO ₂ , μg/(h·g))	16.65	16.38
根系活力 (TTC, g/(g·h))	4.45*	3.98

2.3 高磷低磷处理对烤烟根际微生物数量的影响

肥料、土壤、作物和微生物之间关系十分密切，肥料促进了作物生长，强大的根土系统促进了微生物的繁衍，而微生物的繁衍又可促进土壤有机物的矿化，从而形成作物与微生物在土壤中的相互依存相互促进的关系。在 3 大类土壤微生物中，细菌对肥料的敏感性 > 放线菌 > 真菌^[16]。由表 3 可知，细菌、真菌、放线菌计数以及微生物总计数数量均为高 P 处理大于低 P 处理，分别高 301.2%、50.0%、159.9%、292.7%，并达显著水平。高 P 处理土壤微生物数量与烤烟生理活性均比低 P 处理高，可见土壤微生物数量与烤烟生理活性二者具有相关性（表 2、表 3）。

表 3 高 P 低 P 处理对烤烟根际微生物数量的影响(旺长期)

Table 3 Effects of high P and low P on flue-cured tobacco rhizosphere microbe quantity

微生物数量	高 P	低 P
细菌 (×10 ⁵ cell/g 干土)	43.33*	10.80
真菌 (×10 ² cell/g 干土)	26.67*	17.78
放线菌 (×10 ³ cell/g 干土)	173.33*	66.67
总计 (×10 ⁵ cell/g 干土)	45.09*	11.48

2.4 高磷低磷处理对烤烟根构型指标的影响

根构型决定了植物根系在土壤中的空间分布和所接触到的土壤体积的大小，而植物对土壤中有效 P 的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效 P，如果植物根系在土壤中有效 P 含量较高的区域分布越

多、根系接触到的土壤体积越大,越有利于根系对土壤中 P 的吸收。由表 4 所知,高 P 和低 P 处理对烤烟根系构型的影响,第一、二轮根根数和根重高 P 处理小于低 P 处理,其中第一轮根根数和根重高 P 比低 P 处理低 95.5% 和 85.4%,达显著水平。第三轮根、一级侧根根数和根重均为高 P 处理大于低 P 处理,其中第三轮根数和根重高 P 比低 P 处理分别高 35.5% 和 120.5%,达显著水平,一级侧根根数和根重高 P 比低 P 处理分别高 67.9% 和 13.8%,达显著水平。总不定根数和根重高 P 处理显著小于低 P 处理,总不定根根数和总不定根根重高 P 比低 P 处理分别低 14.1% 和 32.2%。虽然高 P 和低 P 处理总根数及总根重相差不大,但是其不同层次发生的根系却存在差异,这一现象可能与不同时期烟株发育形态、肥料状态、农艺操作有关,高 P 处理第一轮和第二轮根系生物量较低 P 处理低,可能是低 P 处理自身的诱导原因,导致低 P 处理发根数量较高 P 处理多,而随后随着烟株根系生物量的增加,烟株吸收养分加快,高 P 处理第三轮根系和一级侧根量增加,超过了低 P 处理。总不定根生物量低 P 处理较高 P 处理多,可能与烟株旺长期进行了培土农艺操作有关,由于低 P 处理烟株长势较差,低 P 处理烟株培土较高 P 处理多。

表 4 高 P 低 P 处理对烤烟根系构型指标的影响(成熟期)

Table 4 Effects of high P and low P on flue-cured tobacco root configuration index

根系构型指标	高 P	低 P
第一轮根根数(条)	7.33	14.33*
第一轮根根重(g)	2.13	3.95*
第二轮根根数(条)	14.00	15.67
第二轮根根重(g)	3.07	4.42
第三轮根根数(条)	14.00*	10.33
第三轮根根重(g)	1.72*	0.78
一级侧根根数(条)	29.67*	17.67
一级侧根根重(g)	53.50*	47.00
总不定根数(条)	35.33	40.33*
总不定根重(g)	6.92	9.15*
总根数(条)	100.33	98.33
总根重(g)	67.34	65.30

3 结论与讨论

烟株生长指标(株高、茎围、叶重、根重)、生理指标(烟叶净光合速率、硝酸还原酶活性、烟株根系活力)、根际土壤微生物(细菌、真菌、放线菌)数量均为高 P 处理大于低 P 处理。烟草是一个栽培性极强

的作物,受到高 P 和低 P 处理及农艺措施的影响,烟株根系构型具有鲜明的特征,高 P 处理和低 P 处理根系构型各有其侧重点,高 P 处理根系构型优势在烟株生育后期的第三轮根以及一级侧根,而低 P 处理根系构型主要优势在第一轮、第二轮及总不定根。

大量研究在生理层次上探讨作物 P 营养效率与根系形态、生理、生化以及共生特性的相互关系,旨在确立与作物 P 营养效率密切相关的特定生理生化特征及其量化表征。在低 P 条件下,植物通常改变根系的形态,包括增加根长、侧根数量、根冠比、根毛长度和密度、产生特殊形态的簇生根等以及根系在土壤中的均匀分布,以此扩大根系的吸收面积和根系所囊括的土壤容积,以提高其吸收利用介质 P 的能力^[17]。本研究中着重比较了烤烟根系不同轮次的根系发根特征,除了关注侧根、根冠比,还关注不定根发根特征,因为不定根在烤烟栽培中有重要的作用,低 P 处理培土多于高 P 处理,由此低 P 处理烟株不定根总数多于高 P 处理,从而使高 P 处理与低 P 处理在总根数数量和总根重上差异不显著。有相关研究表明,菜豆根系向地性对低 P 胁迫具有适应性反应,即在低 P 条件下菜豆根系变得更浅,根系在表层土壤中的分布相对增加^[2]。这一研究结果与本文烤烟不定根的发根趋势相一致。一般认为植物生长激素通常与植物生长过程中主要的生理生化反应有关,因此某种或某些植物生长激素有可能与根构型对低 P 胁迫的适应性变化有关。生长素在根形成中起关键作用,乙烯、细胞分裂素、赤霉素和脱落酸等在根形成中也起作用。迄今为止,对上述植物激素在诱导不定根形成中的相互作用研究还很少^[11]。由上分析可见,低 P 具有诱发植物发根能力,在烤烟上,通过培土措施诱发其不定根生长,可以使得低 P 处理和高 P 处理烟株总根系生物量没有差异,但是其机制还不十分明确,因此研究烤烟不定根形成及促进烤烟不定根发根能力具有重要意义。另外,大部分土壤中的 P 以铝磷、铁磷形式存在,难以被植物利用,若依靠改良土壤、施用 P 肥或培育新品种来改善作物的 P 营养状况,需要投入大量人力、物力和财力。或者从根分泌物研究入手也是不错的手段,有研究表明落花生、象草等一些植物根系细胞壁内可能存在 P 溶解活性物质有关,而低 P 胁迫下烤烟是否有这些活性物质,以及品种间不定根根系分泌物的差异可能为今后 P 高效利用机制提供参考。

参考文献:

[1] 左天觉著,朱尊权等译.烟草的生产、生理和生物化学.上海:

- 上海远东出版社, 1993: 207
- [2] 严小龙, 廖红, 戈振扬, 罗锡文. 植物根构型特性与磷吸收效率. 植物学通报, 2000, 17(6): 511-519
- [3] 王艳丽, 刘国顺. 磷肥用量对烟叶细胞壁物质含量和烟叶厚度的影响. 烟草科技, 2005(5): 41-44
- [4] 白万明, 徐茜, 刘雪刚, 吕潭斌, 吴平. 福建南平烟区烤烟合理施磷研究. 中国烟草科学, 2007, 28(4): 25-28
- [5] 江朝静, 周焱, 朱勇. 不同施磷水平对烤烟生长和品质的影响. 耕作与栽培, 2004(2): 27-29
- [6] 李立新, 何宽信, 肖仁平, 张德远, 彭耀东. 不同施磷量对烤烟主要产质性状的影响. 中国烟草科学, 2004(1): 28-31
- [7] 徐青萍, 罗超云, 廖红, 严小龙, 年海. 大豆不同品种对磷胁迫反应的研究. 大豆科学, 2003, 22(2): 108-114
- [8] 刘鹏, 周国权, 严小龙, 廖红. 低磷对大豆主根伸长生长的影响. 植物生理学通讯, 2008, 44(4): 726-728
- [9] 刘灵, 廖红, 王秀荣, 严小龙. 不同根构型大豆对低磷的适应性变化及其与磷效率的关系. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1089-1099
- [10] 刘鹏, 区伟贞, 王金祥, 严小龙, 廖红. 磷有效性对植物侧根的发生发育. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 395-400
- [11] 王金祥, 严小龙, 潘瑞焱. 不定根形成与植物激素的关系. 植物生理学通讯, 2005, 41(2): 133-142
- [12] 中国科学院上海植物生理研究所和上海市植物生理学会编. 植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 2004: 152-153
- [13] 白宝璋, 金锦子, 白崧. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良. 玉米科学, 1994, 2(4): 44-47
- [14] Davis DL, Mark TN 编. 烟草—生产、化学和技术. 北京: 化学工业出版社, 2003
- [15] 中国农业科学院烟草研究所编. 中国烟草栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 2005
- [16] 贾志红, 孙敏, 杨珍平, 苗果园. 施肥对作物根际微生物的影响. 作物学报, 2004, 30(5): 491-495
- [17] 梁泉, 尹元萍, 严小龙, 廖红. 不同磷水平下大豆根系性状的遗传特性分析. 分子植物育种, 2009, 7(2): 321-329
- [18] 沈宏, 杨存义, 范小威, 严小龙. 大豆根系分泌物和根细胞壁对难溶性磷的活化. 生态环境, 2004, 13(4): 633-635

Effects of Phosphorus Treatment on Flue-cured Tobacco Growth Physiological Characteristics and Root Configuration

JIA Zhi-hong^{1,2,3}, YI Jian-hua³, FU Jian-guo³, SU Yi-rong¹

(1 Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha

410125, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 China Tobacco Hunan Industrial Co., LTD, Changsha 410007, China)

Abstract: The method of root box was adopted to cultivate flue-cured tobacco. Two fertilizer treatments of high phosphorus and low phosphorus were designed to investigate the effects of high phosphorus and low phosphorus on physiological characteristics, rhizosphere microbe quantity and root configuration of flue-cured tobacco. The results showed that tobacco growth index (plant height, stem width, leaf weight, root weight), physiological index (Pn, NAR, root activity), rhizosphere microbe quantity (bacteria, fungi, actinomycetes) under high phosphorus treatment were all higher than low phosphorus treatment. Root configuration under high phosphorus treatment and low phosphorus treatment had their own distinct rooting traits and emphasis respectively, the superiority of root configuration under high phosphorus treatment occurred at the third round root and surface lateral root in late tobacco growth stage, but low phosphorus treatment occurred at the first round, the second round and total adventitious root. The amount of adventitious root under low phosphorus treatment was higher than high phosphorus treatment.

Key words: Fertilizer, Phosphorus treatment, Flue-cured tobacco, Physiological characteristics, Root configuration