

## 多肽肥对烟田土壤改良及烤烟生长发育的影响

刘悦<sup>1</sup>, 孙敬国<sup>2</sup>, 云月利<sup>1</sup>, 孙光伟<sup>2</sup>, 陈振国<sup>2</sup>, 李建平<sup>2</sup>, 朱蓉<sup>1</sup>, 高享坤<sup>3</sup>, 李亚东<sup>1</sup>

(1. 湖北大学 生命科学学院/省部共建生物催化与酶工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430062;

2. 湖北省烟草科学研究院, 湖北 武汉 430062; 3. 华中农业大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430062)

**摘要:** 研究多肽肥(蛋白废弃物转化而来的有机肥)对植烟土壤改良和烤烟生长发育的影响,旨在为改良酸化土壤、增加土壤微生物种群多样性和提高烟叶产量与品质提供数据支持。以云烟87为试验材料,设置多肽肥3个处理(H1、H2、H3),以烟草专用肥(化肥)为对照,鉴定不同多肽肥处理条件下植烟土壤理化性质、土壤微生物群落、烤烟的生长状况以及烤烟的品质。结果表明,与施加常规烟草专用肥相比,施用多肽肥后,土壤pH值升高了0.4,土壤全钙和交换性钙含量分别提高了10.28%和33.33%,同时土壤全磷和有效磷含量分别降低了25.81%和45.14%,表明施用多肽肥后不仅可以减少磷肥的用量而且可以改变土壤理化性质。土壤微生物群落分析表明,施加多肽肥能显著提升植烟土壤微生物群落的丰富度和多样性,其中,芽单胞菌属(*Gemmatimonas*)相对丰度明显提高。施加多肽肥后烟草的生长发育、产量和品质也有所提高,减施磷肥67%多肽肥处理的烟株株高较常规烟草专用肥对照提高了10 cm,烟叶中的有机酸较常规烟草专用肥对照提高11.25%;烤后烟叶上中等烟率较常规烟草专用肥对照提高了0.17%。

**关键词:** 多肽肥; 减施磷肥; 云烟87; 土壤理化性质

**中图分类号:** S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2024)04-0076-08

## Effects of Polypeptide Fertilizers on Soil Improvement in Tobacco Fields and Growth and Development of Flue-Cured Tobacco

LIU Yue<sup>1</sup>, SUN Jingguo<sup>2</sup>, YUN Yueli<sup>1</sup>, SUN Guangwei<sup>2</sup>, CHEN Zhenguo<sup>2</sup>,  
LI Jianping<sup>2</sup>, ZHU Rong<sup>1</sup>, GAO Xiangkun<sup>3</sup>, LI Yadong<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, State Key Laboratory of Biocatalysis and Enzyme Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China; 2. Hubei Academy of Tobacco Science, Wuhan 430062, China;

3. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** The study on the effects of polypeptide fertilizers (organic fertilizers converted from protein wastes) on the improvement of tobacco-growing soil and the growth and development of flue-cured tobacco aims to provide data support for ameliorating acidified soil, increasing the diversity of soil micro-ecological populations, and enhancing the yield and quality of tobacco leaves. In this study, using Yunyan 87 as the test material, three treatments of polypeptide fertilizers (H1, H2, H3) were set up, and tobacco-specific fertilizer (chemical fertilizer) was taken as the control, the soil's physicochemical properties, soil microbial communities, growth status of flue-cured tobacco, and the quality of flue-cured tobacco under different polypeptide fertilizer treatment conditions were identified. The results showed that compared to the application of conventional tobacco-specific fertilizers, the application of polypeptide fertilizers increased the soil pH value by 0.4. Additionally, the total calcium and exchangeable calcium content in the soil increased by 10.28% and 33.33%, respectively, while the total phosphorus and available phosphorus content decreased by 25.81% and 45.14%, respectively. This indicated that the application of polypeptide fertilizers could not only reduce the amount of phosphorus fertilizer used but also alter the soil's physicochemical properties. Soil microbial community analysis revealed that the addition of polypeptide fertilizers significantly enhanced the richness and diversity of the soil microbial communities in tobacco-growing soil, with an increase in the relative abundance of *Gemmatimonas*. The application of polypeptide fertilizers also improved the growth, yield, and quality of tobacco. In the treatment group with a 67% of reduction of phosphorus fertilizer, the plant height increased by 10 cm, and the content of organic acids in the tobacco leaves increased by 11.25%. Additionally, upper medium tobacco rate of cured tobacco leaves increased by 0.17% compared to the control.

**Key words:** polypeptide fertilizer; reduction of phosphorus application; Yunyan 87; soil physicochemical properties

收稿日期: 2023-08-11

基金项目: 中国烟草总公司湖北省公司科技项目(027Y2021-024)

作者简介: 刘悦(1998-), 女, 山西大同人, 在读硕士, 研究方向: 环境生态学。

通信作者: 李亚东(1964-), 男, 湖北利川人, 教授, 硕士, 主要从事环境生态学研究工作。

随着我国烟草行业的不断发展,产业结构所追求的高质量、稳产越来越依赖于农药和化肥的使用。过度施加肥料不仅导致了一系列土壤环境问题,而且烤烟质量受到了严重的挑战,如烟株矮小、病害等现象日趋明显。烟草的连作和化肥的施用导致烟田土壤酸化严重,进一步导致了土壤理化指标变差,养分吸收利用率降低等。因此,在烟叶种植过程中,常常通过施用较高的磷肥来促使烟叶产量达到预期目标<sup>[1-4]</sup>。然而,过量的磷肥施用使得部分土壤有效磷含量高于正常范围2~3倍,加剧了土壤酸化、降低了土壤有机质含量和微生物多样性,进而导致烟叶品质逐年下降<sup>[5-7]</sup>。此外,经过多年耕作和化肥施用,大量磷被固定在土壤中<sup>[8]</sup>,经地表径流流失,极易造成江河湖的面源污染<sup>[9-10]</sup>。

近年来,由于种植土壤环境恶化,在保证粮食高产稳产的同时,也需要实现生产过程土壤零污染,这就使得有机肥的开发和使用成为研究领域的热点问题之一。通过有机肥代替化肥施用,可以大幅度缓解因化肥的大量施加带来的一系列不良的生态环境问题,降低对土壤的污染,在农作物的生产和生态环境的保护方面具有积极作用<sup>[11-13]</sup>。当前,烟草行业普遍使用的有机肥料主要包括:绿肥、堆肥、粪肥、腐殖肥等,但对烟株的生长发育均未能达到与施用烟草专用肥相似的效果<sup>[14-15]</sup>。因此,探索一种新型肥料对于目前烟草种植行业具有紧迫性和必要性。

多肽肥(多肽配施磷钾)兼有生石灰、尿素、有机肥的多种功能,具有速效肥特性<sup>[16]</sup>。目前,在农业种植领域已得到了广泛应用。它不仅有助于强酸性土壤改良<sup>[17]</sup>,而且可用于有毒重金属污染土壤的钝化修复。在提高作物产量和增加土壤微生物种群多样性等方面也有重要作用<sup>[18-20]</sup>。在烟草种植中,多肽具有促进烟草根系活力、提高烟草植株抗逆性、降低土传疾病的发病率等优点<sup>[20]</sup>。

本研究旨在利用纯有机多肽的蛋白氮代替烟草专用肥的硝态氮和铵态氮,并减少种植中的磷肥施用量。通过研究多肽肥对烟田土壤改良及烤烟生长发育的影响,筛选出最合适的多肽与磷钾比例,进而改良酸化土壤、增加土壤微生态种群多样性以及提高烟叶产量和品质。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验在湖北省恩施自治州利川市柏杨镇

(30°47'N,108°92'E,海拔1 193 m)进行。试验土壤为黄棕壤,其基本理化性质如下:pH值4.32,碱解氮含量为56.70 mg/kg,有效磷含量为6.69 mg/kg,速效钾含量为85.03 mg/kg,交换性钙含量为133 mg/kg。

### 1.2 试验材料

供试烤烟品种为云烟87。试验所用多肽肥为湖北大学生命科学院自主研制,其原料源自废弃动植物残渣,将氧化钙和氢氧化钾与原料混合,经150℃高温催化反应制备出全水溶性多肽(平均分子量约为5 ku)。该多肽基本理化性质如下:pH值为10.85、全氮含量为90.53 g/kg,全磷含量为0.36 g/kg,全钾含量为71.62 g/kg,全钙含量为55.20 g/kg。

### 1.3 试验设计

试验共设置4个处理:H1.多肽肥750 kg/hm<sup>2</sup>,纯N 90 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1.0:1.5:3.0,未减磷肥;H2.多肽肥750 kg/hm<sup>2</sup>,纯N 90 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1.0:1.0:3.0,减施磷肥33%;H3.多肽肥750 kg/hm<sup>2</sup>,纯N 90 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1.0:0.5:2.0,减施磷肥67%;CK.使用烟草专用肥,纯N 90 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1.0:1.5:3.0。试验采用随机区组排列,设置3次重复,共12个小区,每个小区36株烟。株行距按55 cm×120 cm进行种植,肥料用量及使用方法按处理要求进行,烟田管理按照优质烟叶生产大田管理进行。

### 1.4 测定项目及方法

土壤总磷和有效磷含量采用吸光光度法测定,土壤总钙和交换性钙含量采用原子吸收光谱仪测定<sup>[21-24]</sup>;土壤pH以水为浸提剂,采用电位法测定<sup>[25]</sup>。植烟土壤菌群16S rDNA委托苏州诺米代谢有限公司进行高通量测序分析。

烟株农艺性状参照《烟草农艺性状调查测量方法》,于烟苗移植后30(团棵期)、60(打顶期)、101 d(成熟期)进行株高、茎围、最大叶长叶宽测定;烟叶总磷含量采用吸光光度法测定,烟叶总钙含量采用原子吸收光谱仪测定<sup>[26-27]</sup>;烟叶游离氨基酸含量采用Solarbio BC1570可见分光光度法检测试剂盒测定;烟叶可溶性糖含量采用Solarbio BC0030可见分光光度法检测试剂盒测定。

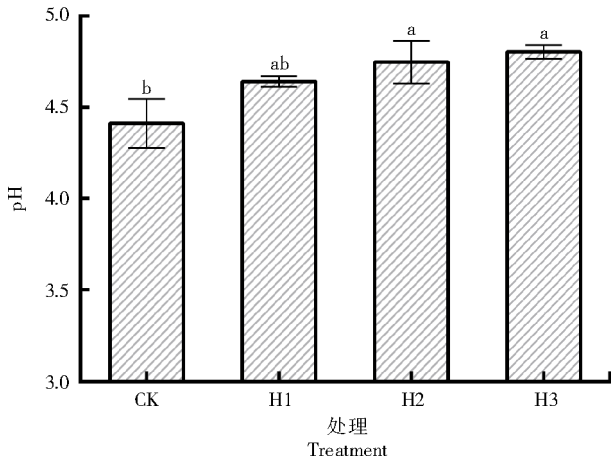
### 1.5 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2022、SPSS 27.0进行数据统计计算、相关性分析及差异显著性分析;采用Graphpad prism 6进行统计分析制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对植烟土壤的影响

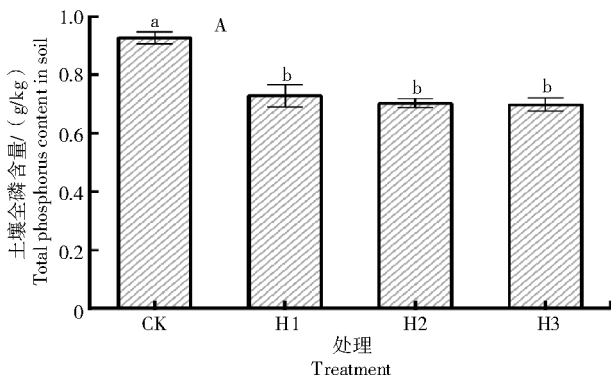
2.1.1 不同施肥处理对植烟土壤 pH 的影响 不同施肥处理对植烟土壤 pH 的影响如图 1 所示。



图中不同字母表示不同处理间有显著性差异( $P < 0.05$ )。下同。  
Different letters in the figure indicated significant differences ( $P < 0.05$ ) among different treatments. The same as below.

图 1 不同施肥措施对植烟土壤 pH 的影响  
Fig.1 Effects of different fertilization measures on pH of tobacco-growing soil

由图 1 可知,不同施肥处理下植烟土壤 pH 值由高到低依次为  $H3 > H2 > H1 > CK$ ,各多肽肥处理土壤 pH 值均高于 CK,其中 H3 处理土壤 pH 值最高,较 CK、H1、H2 分别提高了 0.40、0.17、0.06。统计分析结果显示,H2、H3 处理与 CK 相比,差异显



著( $P < 0.05$ );H1、H2、H3 相互间比较,差异不显著;CK 与 H1 处理相比,差异不显著。以上结果表明,施用多肽肥能够提高土壤 pH,缓解土壤酸化现象。综合比较,H3 处理(减施磷肥 67%)对土壤 pH 的调节效果最佳。

2.1.2 不同施肥处理对植烟土壤全磷、有效磷含量的影响 从图 2-A 可以看出,不同处理土壤全磷含量由高到低依次为  $CK > H1 > H2 > H3$ 。施用多肽肥的处理组合与 CK 相比,土壤全磷含量呈下降趋势,其中 H3 处理土壤全磷含量最低,为 0.69 g/kg,与 CK、H1、H2 处理相比,土壤全磷含量分别降低了 25.81%、5.48%、1.43%。

从图 2-B 可以看出,不同处理土壤有效磷含量由高到低依次为  $CK > H1 > H2 > H3$ ,其中,H3 处理土壤有效磷含量为 11.86 mg/kg,与 CK、H1、H2 处理相比,分别降低了 45.14%、34.11%、14.00%。

统计分析结果显示,在土壤全磷含量方面,CK 显著高于其他各处理( $P < 0.05$ ),H1、H2、H3 处理相互间比较,差异不显著;CK 的土壤有效磷含量显著高于其他各处理,H1 处理显著高于 H2、H3 处理( $P < 0.05$ ),H2、H3 处理间差异不显著。综合以上分析,施用烟草专用肥的植烟土壤有效磷含量过高,超过正常范围(10~20 mg/kg),破坏了土壤结构,因此,通过适当减少磷肥施加量可以降低土壤中有效磷的含量,在环境修复的同时保证了植物生长所必需的磷元素。

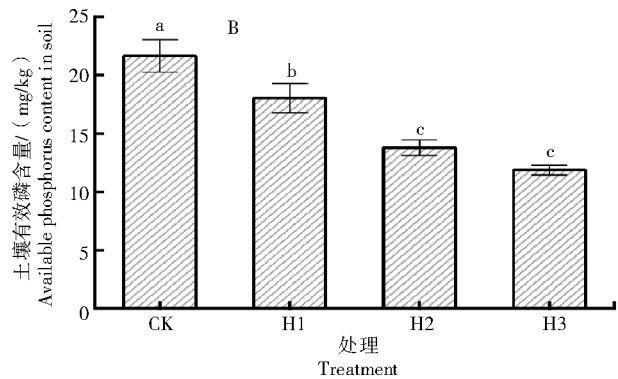


图 2 不同施肥处理对植烟土壤全磷、有效磷含量的影响  
Fig.2 Effects of different fertilization treatments on total phosphorus and available phosphorus content in tobacco-growing soil

2.1.3 不同施肥处理对植烟土壤全钙、交换性钙含量的影响 土壤中的钙元素对于土壤酸化具有缓冲作用。如图 3-A、3-B 所示,施用多肽肥后土壤全钙和交换性钙含量与 CK 相比分别提高了 10.28%~14.49%、33.33%~50.91%,且达到显著水平( $P < 0.05$ );H1、H2、H3 处理组间两两差异分

析显示,土壤全钙和交换性钙含量均无显著差异。

其中,虽然以 H1 处理土壤全钙和交换性钙含量最高,但是 H3 处理下不仅提高了土壤全钙及交换性钙含量而且土壤 pH 值在各处理组中最高,因此,H3 处理较 H1 处理有较高的钙元素利用率。综合以上分析表明,施加多肽肥能够促进土壤钙含量

的积累,提高植烟土壤pH值,对酸化土壤有碱化改

良效应。

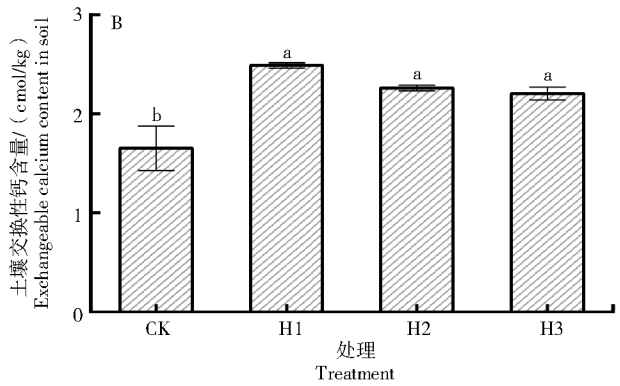
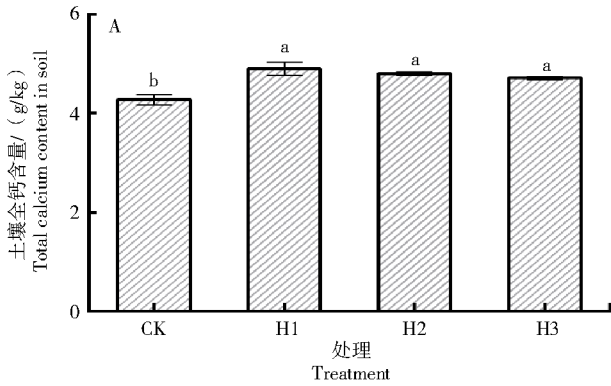


图3 不同施肥措施对植烟土壤全钙、交换性钙含量的影响  
Fig.3 Effects of different fertilization treatments on total calcium and exchangeable calcium content in tobacco-growing soil

2.2 不同施肥处理对植烟土壤微生物的影响

2.2.1 不同处理下植烟土壤微生物群落 Alpha 多样性分析 Alpha多样性指数作为关键参数,可以用来度量一个生态系统中微生物状态,这一指标能反映微生物群落丰富度或者多样性。其中,Chao1指数与Shannon指数分别反映了烟草根际土壤微生物群落的丰富度与多样性,Shannon指数越大,土壤微生物群落的多样性就越高,Chao1指数越大,

表明该物种的丰富度就越高。

从表1可以看出,各处理Chao1指数由高到低依次为H1>H3>H2>CK,Shannon指数由高到低依次为H2>H1>H3>CK。其中,多肽肥处理Chao1指数和Shannon指数值均高于CK,且多肽肥处理在Chao1指数上与CK相比,提高9.24%~15.34%,表明施用多肽肥能够增加土壤中微生物群落的丰富度与多样性。

表1 不同施肥处理下植烟土壤微生物群落 Alpha多样性指数分析  
Tab.1 Analysis of Alpha diversity index of microbial communities in tobacco-growing soil under different fertilization treatments

处理 Treatment	Chao1指数 Chao1 index	Shannon指数 Shannon index	处理 Treatment	Chao1指数 Chao1 index	Shannon指数 Shannon index
CK	5.424b	10.60a	H2	5.925a	10.76a
H1	6.256a	10.63a	H3	6.027a	10.60a

注:同列数据后标有不同小写字母表示不同处理间有显著性差异(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters following data in the same column indicated significant differences(P<0.05) between different treatments.

2.2.2 植烟土壤微生物群落 Beta多样性分析 采用PCoA分析法对土壤微生物进行了相似性或者差异性研究(图4)。

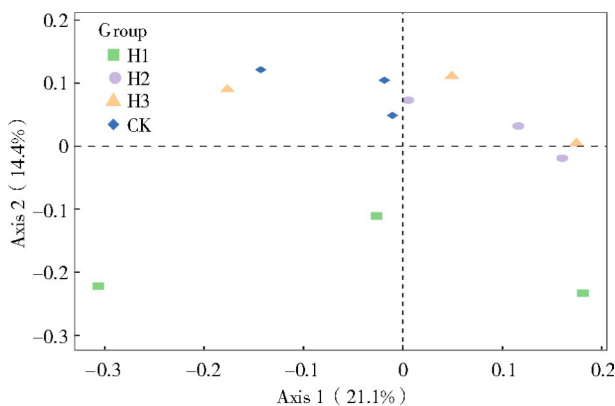


图4 基于OTU水平下植烟土壤细菌群落的PCoA分析  
Fig.4 PCoA analysis of bacterial communities in tobacco-growing soil at OTU level

由图4可知,Axis 1和Axis 2的贡献率分别为21.1%和14.4%,累计贡献率为35.5%。在Axis 2轴上,H1处理都分布在负方向上,H3处理均分布在正方向上;在Axis 1轴上,H2处理各点均分布在正方向上,CK都分布在负方向上且各处理组间距离较远,即各处理组土壤微生物群落结构差异明显。上述结果表明,与CK相比,施用多肽肥对土壤微生物群落的Beta多样性有一定影响。

2.2.3 不同施肥处理下植烟土壤微生物物种组成分析 在属水平上对相对丰度排名前20位的土壤微生物物种组成进行了分析,结果如图5所示,其中不同处理植烟土壤在属水平上相对丰度排名前10位的微生物群落分别是JG30-KF-AS9(8.54%~12.75%)、芽单胞菌属 Gemmatimonas (4.39%~5.68%)、AD3(2.10%~3.46%)、罗河杆菌属 Rho-

*danobacter*(1.96%~4.07%)、Subgroup\_2(1.82%~2.89%)、鞘脂单胞菌属 *Sphingomonas* (2.05%~2.39%)、*Chujaibacter* (0.75%~3.33%)、SC-I-84 (1.69%~2.12%)、IMCC26256 (1.74%~2.14%)、热酸菌属 *Acidothermus* (1.29%~1.62%)。其中,施用多肽肥处理后,芽单胞菌属(*Gemmatimonas*)相对丰度与CK相比有所增加,而*Gemmatimonas*

在农业种植土壤中属优势菌属,对改善土壤环境具有积极的作用。与此相反,JG30-KF-AS9对植烟土壤的酶活性有不利影响,易导致土壤中可用养分缺失,而CK的JG30-KF-AS9相对丰度较其他处理高,说明施用多肽肥能够抑制JG30-KF-AS9菌群的生长和繁殖,对土壤微生态环境有促进作用。

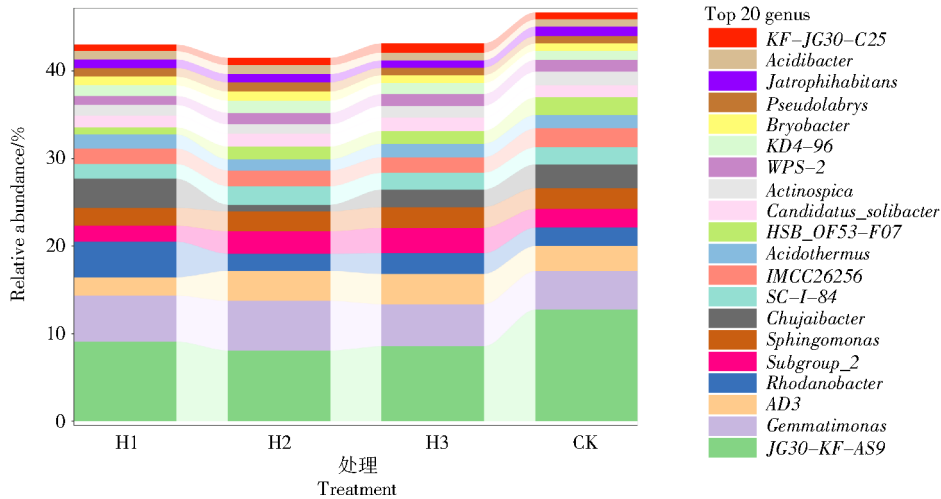


图5 植烟土壤微生物群落在属分类水平上的相对丰度分析  
Fig.5 Analysis of the relative abundance of microbial communities in tobacco-growing soil at the taxonomic level

2.3 不同施肥处理对烤烟生长发育的影响

2.3.1 不同施肥处理对烤烟农艺性状的影响 如表2所示,团棵期H3处理茎围最大,与CK、H1和H2处理相比,分别增大0.88、0.72、1.26 cm。在成熟期,H3处理株高最高,与CK、H1和H2处理相比,分别增高10、8、1.78 cm,H3处理与CK差异显

著( $P < 0.05$ );H3处理茎围最大,与CK、H1和H2处理相比,分别增大0.9、0.8、0.2 cm,而且H3处理与CK和H1处理差异显著( $P < 0.05$ )。综合分析,在施用多肽肥的基础上减施磷肥对烟草的生长发育有促进作用,其中以减施磷肥67%的H3处理(氮磷钾比例为1.0:0.5:2.0)为最优处理。

表2 各处理烟株主要农艺性状分析  
Tab.2 Analysis of main agronomic traits of tobacco plants in each treatment

生育期 Growth period	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem circumference	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width
团棵期(移栽后30 d) Seedling Stage(30 d after transplanting)	CK	27.00a	6.40bc	48.26a	24.58a
	H1	24.20a	6.56b	45.20a	24.40a
	H2	27.40a	6.02c	48.84a	25.70a
	H3	29.00a	7.28a	49.30a	26.88a
打顶期(移栽后60 d) Topping Stage(60 d after transplanting)	CK	122.50a	9.70a	71.00a	27.40a
	H1	124.60a	9.50a	71.30a	27.40a
	H2	127.60a	10.00a	73.60a	28.00a
	H3	131.20a	10.00a	74.40a	28.80a
成熟期(移栽后101 d) Maturity Stage(101 d after transplanting)	CK	121.70b	10.50c	75.90a	28.00a
	H1	123.70ab	10.60bc	74.40a	28.30a
	H2	129.92ab	11.20ab	74.70a	28.90a
	H3	131.70a	11.40a	76.80a	29.40a

注:同列数据后标有不同小写字母表示同一时期同一指标不同处理间有显著性差异( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: Different lowercase letters following data in the same column indicated significant differences( $P < 0.05$ ) among different treatments within the same period. The same as below.

2.3.2 不同施肥处理对烤烟生理指标的影响 烟叶的内在化学成分是评价烤烟生长发育及品质的关键指标。由表3可知,H3处理上部叶和中部叶叶片全磷含量均高于其他各处理。H3处理较CK、H1、H2处理上部叶全磷含量分别提高11.61%、54.32%、27.55%,中部叶全磷含量分别提高12.50%、45.95%、8.00%。显著性分析结果显示,

H3处理上中部烟叶全磷含量显著高于H1处理( $P<0.05$ ),CK、H1、H2间差异不显著。在烟叶全钙含量上,H1处理上部叶全钙含量显著高于其他处理( $P<0.05$ ),其余各处理间差异不显著;H1处理中部叶钙含量显著高于H2处理( $P<0.05$ ),而H1、CK和H3处理间差异不显著。

表3 不同施肥处理对成熟期烟叶生理指标的影响  
Tab.3 Effects of different fertilization treatments on physiological indexes of tobacco leaves at maturity stage

部位 Position	处理 Treatment	全磷含量/(g/kg) Total phosphorus content	全钙含量/ (g/kg) Total calcium content	有机酸含量/ (mg/g) Organic acid content	游离氨基酸含量/ (mg/g) Free amino acid content	可溶性糖含量/ (mg/g) Soluble sugar content
上部叶 Upper leaves	CK	1.12ab	12.74b	26.58a	22.37a	93.48a
	H1	0.81b	25.63a	32.75a	31.50a	95.83a
	H2	0.98ab	16.01b	30.89a	23.08a	90.06a
	H3	1.25a	12.22b	35.92a	26.29a	100.53a
中部叶 Middle leaves	CK	1.44ab	13.58ab	20.63a	21.94a	65.82a
	H1	1.11b	14.91a	21.97a	22.32a	73.14a
	H2	1.50ab	12.69b	24.96a	20.40a	69.65a
	H3	1.62a	13.67ab	22.95a	21.39a	78.27a

各多肽肥处理上部叶和中部叶烟叶有机酸含量较CK分别提高3.17%~35.14%和6.50%~21.00%,各处理间无显著差异。上中部烟叶游离氨基酸含量各处理间差异不显著。在烟叶可溶性糖含量上,虽然H3处理上部叶和中部叶可溶性糖含量均高于其他处理,但各处理间差异不显著。综上所述,在施加多肽肥的基础上减施磷肥有一定的协调上部叶烟叶化学成分、提高烟叶整体品质的作用。

2.3.3 不同处理对烤后烟叶经济性状的影响 由表4可知,各处理烤后烟叶产量、产值大小表现为CK>H3>H2>H1,其中,H3处理与CK在烟叶产量和产值上最为相似。各处理在均价和上中等烟率上大小分别表现为H3>H2>CK>H1和H3>CK>H2>H1,其中,H3处理较CK分别提高了0.07元/kg和0.17%,效果最佳。

表4 不同处理烤后烟叶经济性状分析  
Tab.4 Analysis of economic traits of cured tobacco leaves under different treatments

处理 Treatment	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Output value	均价/ (元/kg) Average price	上中等烟率/% Upper medium tobacco rate
CK	138.65	4 216.25	30.41	93.05
H1	135.55	4 110.25	30.32	90.12
H2	136.45	4 158.12	30.47	91.14
H3	138.25	4 213.25	30.48	93.22

### 3 结论与讨论

烟草行业是国内利税大户,但国内多个省份适合烟草种植的土壤越来越少,其原因是随着化肥的不断施用,土壤酸化程度加重,土壤有机质、土壤微生物种群逐渐减少<sup>[28-29]</sup>。其中,土壤酸化是限制养分吸收和作物产量的最重要因素之一。有研究表明,土壤磷含量与土壤酸碱度关系密切<sup>[30]</sup>。较过去10 a,湖北省农田土壤的有效磷含量出现了大幅的提高,烤烟质量很大程度上受到了严重的挑战<sup>[31]</sup>,常规只施加有机肥难以单独种植出品质好的烟叶,只有施加含硝态氮的烟草复配无机肥才能种植出合格烟叶。因此,部分烟草公司采用施加一定有机肥作为改良土壤的补充肥料,同时也希望研发出具有速效性的纯有机肥来满足优质烟草的种植。

试验中多肽肥(H1、H2、H3)使土壤pH值相较烟草专用肥CK提高了5.22%~9.07%,土壤全磷和有效磷含量显著降低21.50%~25.81%和16.74%~45.14%,土壤全钙和交换性钙含量显著增加9.32%~12.65%和25%~33.73%。说明施加多肽肥对提高土壤pH值有促进作用,这可能是由于多肽肥中含有钙元素,对酸性土壤有碱化效应,这与王世林等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。通过减施过磷酸氢钙,能够显著降低土壤中磷含量,避免土壤中磷的过量积累,进一步缓解水体富营养化问题。然

而,需要注意的是,减施过磷酸氢钙需要根据特定的土壤类型、作物种类和生长条件进行调整。过度减少磷的施用可能会导致植物磷营养不足,影响生长发育。因此,本试验通过多个不同磷肥减施比例进行研究,筛选最适宜作物生长的氮磷钾比例。多肽肥在施用后会导致土壤中钙含量的显著提升。这可能是由于多肽肥中的多肽成分源自植物残渣,这些残渣可能含有较高的钙含量。因此,与传统的烟草专用肥相比,多肽肥中的钙来源更丰富,从而导致多肽肥处理土壤中钙含量较高。另外,研究还表明,土壤中的钙离子含量对于酸化土壤中的真菌性病害具有一定的抑制作用<sup>[32]</sup>,这或许意味着在适宜范围内,较高的土壤钙含量可能有助于减轻真菌性病害对植物的影响,从而改善植物的健康状况。

当前,尽管烟草行业广泛推广使用有机肥,但其效果往往无法与烟草专用肥相比。烟草专用肥通常富含硝态氮,这种氮源具有速效性,可以促进烟草快速生长。然而,硝态氮的应用也存在一系列问题,如产生温室气体(氮氧化物)、高昂的成本、导致土壤板结以及减少土壤微生物种群数量等问题<sup>[33]</sup>。在过去的研究中已经发现,多肽肥具备类似生石灰、尿素和有机肥的多种功能,同时还表现出速效性。鉴于此,本研究提出了将多肽肥用于烟草种植的可能性,以探索其是否适用于这个领域。

在应用多肽肥的情况下减少磷肥的施用量,关注植株的产量和品质是否能够达到标准显得尤为重要。研究结果表明,减施磷肥在烟株的生长发育及品质上均达到了令人满意的效果。然而,令人困惑的是,经过减施磷肥的H1处理后,土壤中的全磷和有效磷含量明显下降,同时植物对磷的吸收也降低了。目前,尚不清楚造成这一现象的确切原因,这可能需要进一步的研究和分析。

此外,在综合考量产量、产值、均价以及烟叶等因素时,相对于传统的烟草专用肥,在多肽肥减施磷肥的处理下上中等烟率、产量、产值等方面均呈现出一定优势。这表明通过减少磷肥的施用,植物产量质量不仅得到了保证,同时上中等烟率的提高也可为烟草产业带来经济效益。

本研究结果表明,多肽对烟田土壤减施磷肥以及烤烟生长的调控具有可行性,磷肥减施可达67%,且多项指标达到或超过专用肥标准。以多肽作为基础,减少磷肥的施用不仅有助于改善土壤的理化性质和土壤微生物群落的结构,还能够促进烤

烟的生长和发育,协调烟叶化学成分,从而提高烟叶的品质,进一步增加烤后烟叶的经济效益。综合来看,多肽在减少磷肥的施用方面表现出了较好的效果。这不仅有助于提高烟叶的产量和改善品质,还为减少化肥的施用和改善土壤质量提供了重要的技术指导,具有广泛推广的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] WU Z F, SUN X M, SUN Y Q, et al. Soil acidification and factors controlling topsoil pH shift of cropland in central China from 2008 to 2018[J]. *Geoderma*, 2022, 408: 115586
- [2] DENG X J, XU X L, WANG S H. The tempo-spatial changes of soil fertility in farmland of China from the 1980s to the 2010s [J]. *Ecological Indicators*, 2023, 146: 109913.
- [3] DAI P G, CONG P, WANG P, et al. Alleviating soil acidification and increasing the organic carbon pool by long-term organic fertilizer on tobacco planting soil[J]. *Agronomy*, 2021, 11(11): 2135.
- [4] BAI Y X, WANG G, CHENG Y D, et al. Soil acidification in continuously cropped tobacco alters bacterial community structure and diversity via the accumulation of phenolic acids[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 12499.
- [5] XU Q C, LING N, CHEN H, et al. Long-term chemical-only fertilization induces a diversity decline and deep selection on the soil bacteria[J]. *mSystems*, 2020, 5(4): e00337-e00320.
- [6] LI H Y, ZHANG Y H, SUN Y G, et al. Long-term effects of optimized fertilization, tillage and crop rotation on soil fertility, crop yield and economic profit on the Loess Plateau[J]. *European Journal of Agronomy*, 2023, 143: 126731.
- [7] 查宇璇, 冉茂, 周鑫斌. 烟田土壤酸化原因及调控技术研究进展[J]. *土壤*, 2022, 54(2): 211-218.  
ZHA Y X, RAN M, ZHOU X B. Research progresses on the causes of soil acidification in tobacco fields and its control[J]. *Soils*, 2022, 54(2): 211-218.
- [8] 周剑雄, 邓建强, 徐大兵, 等. 鄂西植烟土壤磷素形态分布特征研究[J]. *湖北农业科学*, 2022, 61(20): 28-32, 39.  
ZHOU J X, DENG J Q, XU D B, et al. Distribution characteristics of phosphorus forms in tobacco growing soil in western Hubei[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(20): 28-32, 39.
- [9] ZHANG S, CHEN S, JIN J W, et al. Incorporation of calcium cyanamide and straw reduces phosphorus leaching in a flooded agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2022, 428: 116150.
- [10] JIAO W T, CHEN W P, CHANG A C, et al. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: a review[J]. *Environmental Pollution*, 2012, 168: 44-53.
- [11] BOZHINOVA R. Accumulation of heavy metals in soil and tobacco after long-term mineral and organic-mineral fertilization [J]. *Journal of Central European Agriculture*, 2019, 20(1): 475-490.
- [12] MOCKEVICIENE I, REPSIENE R, AMALEVICIUTE-VOLUNGE K, et al. Effect of long-term application of organic fertilizers on improving organic matter quality in acid soil[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2022, 68(9): 1192-1204.
- [13] 程培军, 张翔, 范艺宽, 等. 磷肥用量对烤烟生长、产量及磷利

- 用效率的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(10):1462-1468.
- CHENG P J, ZHANG X, FAN Y K, et al. Effects of phosphate fertilizer amount on growth, yield, and phosphorus utilization efficiency of flue-cured tobacco[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(10):1462-1468.
- [14] ISABELLA S M, GIAMPAOLO R, ALBINO M. Improving the sustainability of tobacco cultivation by optimizing nitrogen fertilization[J]. Australian Journal of Crop Science, 2017, 11(11):1399-1405.
- [15] 张蕤, 王欢欢, 赵园园, 等. 不同碳源有机物料对植烟土壤碳氮及细菌群落的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(3):84-94.
- ZHANG R, WANG H H, ZHAO Y Y, et al. Effects of organic materials with different carbon sources on soil carbon and nitrogen and bacterial communities in tobacco-planting soil[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(3):84-94.
- [16] 汤秋云, 高琪, 李思彤, 等. 污泥蛋白肽对土壤微生态及植物生长调控[J]. 环境工程学报, 2015, 9(11):5611-5616.
- TANG Q Y, GAO Q, LI S T, et al. Regulatory effects of sludge protein peptide on micro-ecology and plant growth[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(11):5611-5616.
- [17] 王士林, 王铁军, 吴红红, 等. 蛋白多肽对强酸化土壤的改良效应[J]. 环境工程学报, 2020, 14(7):1983-1990.
- WANG S L, WANG T J, WU H H, et al. Improvement effects of polypeptide on strongly acidified soil[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(7):1983-1990.
- [18] 杨升, 毛文凌, 吴红红, 等. 钙多肽对水稻吸收重金属铅的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(7):1411-1419.
- YANG S, MAO W L, WU H H, et al. Effects of calcium polypeptides on adsorption of the heavy metal lead in rice[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, 40(7):1411-1419.
- [19] 陈红兵. 钙多肽对水稻 (*Oryza sativa* L.) 吸收  $Cd^{2+}$  的阻控效应及机理研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2020.
- CHEN H B. Inhibitory effect and mechanism of calcium polypeptide on the absorption of  $Cd^{2+}$  by *Oryza sativa* L. [D]. Wuhan: Hubei University, 2020.
- [20] 吴红红, 刘紫薇, 李偲, 等. 复配多肽对强酸性土壤条件下“云烟87”的根系生长调控[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2022, 44(3):361-367.
- WU H H, LIU Z W, LI S, et al. Regulation of root growth of “Yunyan 87” in highly acidic soil by compound polypeptide[J]. Journal of Hubei University (Natural Science), 2022, 44(3):361-367.
- [21] 中华人民共和国农业部. 土壤全磷测定法: NY/T 88—1988[S]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Method for determination of soil total phosphorus: NY/T 88—1988[S]. Beijing: China Agriculture Press, 1988.
- [22] 中华人民共和国农业部. 土壤全量钙、镁、钠的测定: NY/T 296—1995[S]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil total calcium, magnesium, sodium determination: NY/T 296—1995[S]. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [23] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第13部分: 土壤交换性钙和镁的测定: NY/T 1121.13—2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil Testing Part 13: Method for determination of soil exchangeable calcium and magnesium: NY/T 1121.13—2006[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [24] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第7部分: 土壤有效磷的测定: NY/T 1121.7—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil testing-part7: method for determination of available phosphorus in soil: NY/T 1121.7-2014[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [25] 中华人民共和国生态环境部. 土壤pH值的测定 电位法: HJ 962—2018[S]. 北京: 中国环境出版社, 2019.
- Ministry of Ecology and Environment, People's Republic of China. Potentiometric method of soil pH value: HJ 962-2018[S]. Beijing: China Environment Press, 2019.
- [26] 中华人民共和国农业部. 植物中氮、磷、钾的测定: NY/T 2017—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plants: NY/T 2017-2011[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中钙的测定: GB 5009.92—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- The National Health and Family Planning Commission, the State Food and Drug Administration of the People's Republic of China. National standard for food safety: determination of calcium in food: GB 5009.92-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [28] 张辉, 宋琳, 陈晓琳, 等. 土壤退化的原因与修复作用研究[J]. 海洋科学, 2020, 44(8):147-161.
- ZHANG H, SONG L, CHEN X L, et al. Study on the causes and remediation of soil degradation[J]. Marine Sciences, 2020, 44(8):147-161.
- [29] SINGH A K, MAZUMDAR S P, SAHA A R, et al. Soil quality changes resulting from long-term fertilizer application under intensive cropping system in alluvial soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2017, 48(13):1503-1510.
- [30] 赵书军, 饶雄飞, 袁家富, 等. 恩施州植烟区土壤养分现状及演变趋势[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2):33-37, 62.
- ZHAO S J, RAO X F, YUAN J F, et al. Present status and changing tendency of soil nutrients in tobacco fields in Enshi region[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015(2):33-37, 62.
- [31] 孟凡, 罗建新, 蔡叶, 等. 土壤速效磷对烟草生长发育及干物质积累与分配的影响[J]. 作物杂志, 2022(2):203-210.
- MENG F, LUO J X, CAI Y, et al. Effects of soil available phosphorus on tobacco growth and dry matter accumulation and distribution[J]. Crops, 2022(2):203-210.
- [32] ZHAO L, JIANG W T, CHEN R, et al. Quicklime and superphosphate alleviating apple replant disease by improving acidified soil[J]. ACS Omega, 2022, 7(9):7920-7930.
- [33] 陈宝明. 施氮对植物生长、硝态氮累积及土壤硝态氮残留的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(3):630-632.
- CHEN B M. Effect of N supply on plant growth, nitrate accumulation and soil nitrate residue[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(3):630-632.