

多糖微生物菌液对油菜吸收养分和土壤氮磷淋失的影响

余松灿, 王循睿, 马 铭, 王轶婷, 郝建朝*, 周 炜, 刘惠芬

(天津农学院, 天津 300384)

摘 要: 为探究富含多糖微生物菌液和化肥混合使用对植物吸收养分和控制土壤氮磷淋失的影响, 采用油菜盆栽试验方法, 把一定体积微生物菌液和不同量化肥进行混合灌溉油菜, 油菜收获后, 测定油菜和上下两层土壤的理化性质。结果表明, T5 处理 (50 mL 微生物菌液, 1.2 g 尿素和 0.72 g 磷酸二氢钠混合加入到 4.5 kg 土壤中) 油菜生物量最大, 油菜对氮、磷、钾具有较高同化吸收能力; 随着化肥用量的增加, 上层土壤有效磷含量增加缓慢, 下层土壤有效磷含量与对照没有显著性差异, 磷的垂直淋失风险较小; 当化肥用量低于 T5 处理用量时, 上层土壤铵态氮含量高于对照, 而土壤硝态氮含量低于对照, 下层土壤铵态氮和硝态氮含量与对照没有显著性差异, 说明氮淋失量较小; 化肥用量高于 T5 处理用量时, 与对照相比, 上层土壤硝态氮和铵态氮含量显著增加, 下层硝态氮增加不显著, 但是土壤铵态氮显著增加, 提高了氮垂直淋失风险。加入微生物菌液可以活化土壤中的钾元素, 有利于油菜对钾的吸收。研究表明, 微生物菌液与适量化肥混合使用, 有助于化肥减量和油菜不减产, 不但对土壤氮、磷淋失具有一定抑制作用, 还可促进油菜对土壤中钾的吸收。

关键词: 微生物菌液; 多糖; 垂直淋失; 生物地球化学循环; 氮; 磷

氮、磷、钾是植物生长必须的大量元素, 为了追求农作物高产而过量投入化肥, 使得大量氮、磷进入到地表和地下水, 从而导致其成为水体富营养化的主要驱动因子^[1-3]。2010 年我国《第一次全国污染源普查公报》结果显示, 来源于农业污染源的总氮和总磷占地表水体氮、磷污染总负荷的 57.2% 和 67.4%^[4]。除地表水受到污染外, 长期的“肥大水勤”管理模式造成严重地下水污染^[5], 这种影响在潮土地区更加明显^[6]。与点源污染相比, 农业面源污染具有分散、隐蔽、随机、不易监测等特征, 因此, 导致治理难度增加^[7]。

为了抑制氮、磷的淋失, 目前主要调控方法包括源头减量和过程控制^[8]。源头减量就是减少化肥的用量, 从而降低化肥的淋失^[9], 这种方式可能会使农作物面临减产而降低收益。减量施肥是降低面源污染的基础, 如果在减量施肥的基础上施以原位过程控制, 将会取得更佳的效果。过程控制包括以下 5 个方面: 第一, 合理灌溉, 众多研究表

明, 优化水分管理可以防止化肥淋溶, 降低水体氮、磷污染风险^[10-11]; 第二, 改变种植模式, 通过间作、套作和轮作等模式来促进植物对营养物质吸收, 降低化肥在土壤中的残留^[12]; 第三, 施加抑制剂, 抑制剂可通过降低土壤酶活性和微生物活性来降低化肥向易淋溶状态的转化, 实现化肥的高效利用^[13-14]; 第四, 添加土壤改良剂, 向土壤中施加一些生物炭等吸附剂来抑制氮、磷的淋失^[15-16], 或通过施加有机肥和秸秆还田等方式强化微生物对无机营养物质的封存^[17]; 第五, 施加有机碳肥, 基于经典植物矿质营养理论, 廖宗文等^[18]提出了有机碳肥的概念, 有机碳肥与有机肥不同, 它是指水溶性高, 含有易被植物吸收的糖、醇、酸 (含氨基酸) 等有机碳化合物, 这些有机化合物可以直接进入植物新陈代谢过程。有机碳肥中的碳已经是有机态, 不需要光合作用进行转化, 可直接作为后续生化反应的起点, 节省下光合能可制造新的生物物质, 从而促进植物生长^[19]。

基于微生物对化肥的封存和有机碳肥促进植物吸收营养元素的原理, 本课题拟采用富含多糖的微生物菌剂和化肥协同施肥方法, 旨在促进植物吸收养分的同时, 降低营养元素在垂直方向的迁移。该研究成果将为后续研究氮、磷、钾在“土相”“水相”“生物相”的生物地球化学循环提供一种模式

收稿日期: 2020-06-21; 录用日期: 2020-09-01

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0800104); 国家级大学生创新创业训练项目 (201810061002)。

作者简介: 余松灿 (1999-), 女, 四川省乐山市人, 本科, 研究方向为土壤面源污染治理。E-mail: YuHeZhoi@163.com。

通讯作者: 郝建朝, E-mail: qqhc1980@163.com。

材料和研究启发^[8, 20], 为从生态系统层面提高化肥利用率和控制化肥的淋失提供基础资料。

1. 材料与方法

1.1 试验材料

油菜品种为天秀(购置于天津市耕耘种业有限公司); 土壤采自天津农业科学院大棚, 土壤为盐碱土, 土壤 pH 9.67, 全氮 2.99 g/kg, 全磷 0.89 g/kg, 全钾 10.08 g/kg, 铵态氮 10.23 mg/kg, 硝态氮 11.05 mg/kg, 有效磷 6.00 mg/kg, 速效钾 169.40 mg/kg。富含多糖微生物菌液的制备方法如下: 在 1 L 三角瓶中装入 500 mL 无氮培养基(1 L 培养基中含 5 g 蔗糖、0.1 g CaCO₃、5 g MgSO₄·7H₂O、0.5 mg FeCl₃·6H₂O、2 g Na₂HPO₄·12H₂O), 灭菌后接入胶质芽孢杆菌母液, 置 30℃、160 r/min 恒温摇床中培养 3~4 d, 即得富含多糖的胶质芽孢杆菌菌液, 微生物菌液的细菌数量为(0.96~2.8)×10⁵ cfu/mL, 粗多糖含量为 4.4420 g/L。

1.2 试验方法

本研究采用油菜盆栽试验方法, 花盆直径为 28.0 cm, 高度为 23.5 cm, 每盆装 4.50 kg 土, 播种, 油菜长至 2 片真叶时, 薹苗, 每盆保留 10 株油菜。在此期间, 每 3 d 浇一次水, 每次 1 L 左右。长至第五真叶期, 把化肥和微生物菌液混合于 1 L 水后进行灌溉施肥, 分别设 8 个处理(表 1), 尿素的最高用量按 N 150 kg/hm² 施加, 按照氮磷比为 4:1 加入磷肥, 每个处理 3 个重复。施肥后根据不同处理土壤干湿状况进行浇水灌溉, 灌溉水不能下渗到底托内。施肥后 21 d 收获, 收获后的油菜首先在 105℃ 的烘箱中杀青 30 min, 然后在 75℃ 烘箱中烘干, 研磨, 测定植物样品氮、磷和钾含量。土壤分上下两层采样(上层 10 cm, 下层 10 cm), 自然风干, 研磨, 用于理化性质分析。

表 1 不同施肥处理

序号	处理	微生物菌液 (mL)	尿素 (g)	二水磷酸 二氢钠(g)
1	CK	0	0	0
2	T1	50	0	0
3	T2	50	0.2	0.12
4	T3	50	0.4	0.24
5	T4	50	0.8	0.48
6	T5	50	1.2	0.72
7	T6	50	1.6	0.96
8	T7	50	2.0	1.20

1.3 测试方法

油菜和土壤理化性质分析参照相关标准进行测定^[21-22]。油菜生物量使用重量法测定。油菜氮、磷、钾含量测定方法如下: 使用硫酸和双氧水消解, 消解后定容、过滤, 分别使用凯氏定氮法、钼钼黄比色法和火焰分光光度计测定油菜氮、磷、钾的含量。土壤氮、磷、钾含量测定方法如下: 土壤全氮使用凯氏定氮法测定, 铵态氮和硝态氮含量分别使用纳氏比色法和紫外分光光度法测定; 土壤全钾(硫酸和高氯酸消解)和速效钾(乙酸铵浸提)使用火焰分光光度计测定; 土壤全磷(硫酸和高氯酸消解)和有效磷(碳酸氢钠浸提)使用钼锑抗比色法测定^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对油菜生物量的影响

不同处理油菜生物量变化如图 1 所示, 油菜干重和湿重随着施肥量增加呈先降低后增加, 最后趋于平缓的变化。T5 处理油菜湿重和干重最高, 但是与 T6 和 T7 没有显著性差异。T1 处理油菜湿重最低, T2 处理干重最低。与 CK 相比, 单独加入富含多糖微生物菌液不能提高油菜生物量(T1); 土壤中同时加入富含多糖微生物菌液和少量化肥(T2、T3), 油菜生物量也没有增加; 化肥施加量达到一定量(T5)时, 油菜生物量显著增加, 继续增加化肥用量时(T6 和 T7), 油菜生物量与 T5 没有显著性差异。根据肥料效应函数可知, 肥料正效应达到极限之前, 植物生物量随着肥料用量增加而增加。吕晓惠等^[25]的研究结果表明, 化肥用量增加会提高甜椒的产量。李想等^[23]使用 BP 神经网络研究了粮食产量与化肥用量的相关性, 结果表明化肥用量低于阈值量时, 粮食产量将会较快增长, 过多施用化肥并不能取得高产。本研究结果表明富含多糖微生物菌液和低化肥用量并不能提高油菜产量。可能是微生物菌液加快了土壤中无机营养元素向生物相的转化, 降低了油菜对有效态无机营养物质的吸收, 抑制油菜生长。化肥用量达到一定量之后, 氮、磷可同时满足微生物和油菜的生长需求, 既促进了油菜生长, 又达到了化肥生物封存和缓释的目的, 提高化肥的利用率。常文智等^[24]和邓天天等^[26]的研究结果都证实微生物菌剂可促进植物对氮、磷肥的利用。为了进一步验证油菜对无机营养元素的吸收状况, 本试验测定了油菜氮、磷、钾含量和上、下两层土壤的理化性质。

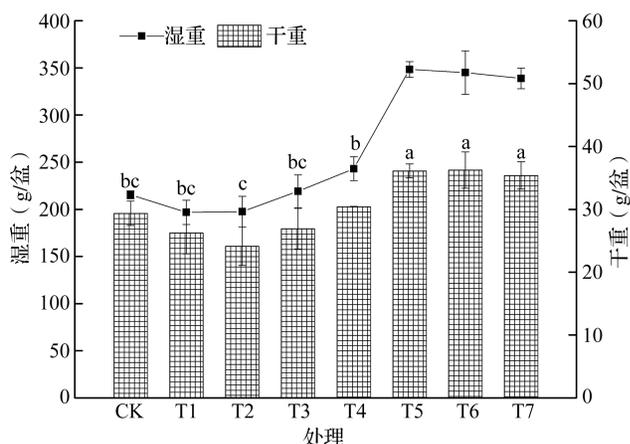


图1 不同处理油菜生物量的变化

注：图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同处理油菜氮、磷、钾吸收量的差异

油菜对化肥及土壤中氮、磷、钾等养分的吸收直接表现为各元素在植物体内的含量，不同处理油菜氮、磷、钾吸收量的差异如图2所示，油菜氮吸收量随着化肥施加量的增加呈现先降低后升高的趋势，无氮 (T1) 和低氮 (T2) 条件下油菜氮吸收量小于CK，说明富含多糖微生物菌液的加入抑制了油菜对氮肥的吸收，因为微生物菌液在无氮培养基中培养，一旦与化肥混合或单独加入土壤中，细菌会吸收大量氮源，从而抑制油菜对氮的吸收，影响油菜生长，导致油菜氮吸收量下降。T3、T4和T5条件下油菜氮吸收量比CK高，但是增加幅度较小。原因是细菌和油菜在施肥初期对氮肥吸收存在竞争关系，细菌吸收化肥中氮素并储存在土壤中，然后通过降解和矿化再被油菜利用。研究表明，当氮肥施入土壤后，土壤微生物和植物会竞争吸收施入的氮。短时间内（小时时间尺度）土壤微生物吸收氮的能力强于作物^[27]；但较长时间（天时间尺度）作物吸收氮的能力强于土壤微生物^[28]。土壤中碳源供给不足是引起微生物竞争力下降的主要原因，微生物菌剂富含多糖等碳水化合物，可以延长微生物吸收氮的时间。氮供应不足条件下 (T1和T2)，微生物对氮的吸收占据优势，抑制油菜对氮的吸收；氮素较丰富的土壤中 (T3、T4、T5)，微生物和油菜对氮素吸收的竞争力减弱^[29]，基本满足油菜生长需求；氮素丰富的土壤中，T6和T7油菜氮吸收量显著高于T5，但是生物量却没有显著性差异 (图1)，说明氮素除了被微生物同化吸收外，还能为油菜生长

提供充足氮养分。上述结果表明细菌和油菜吸收氮素存在竞争关系，细菌会以更快的速度吸收氮素，完成化肥由水相向生物相的转化，增加化肥肥力的持久性，故微生物菌液和化肥耦合使用时，需要重视油菜吸收氮源和细菌固定氮源之间的平衡。基于油菜生物量和氮吸收量，T5为最佳的施肥方式。

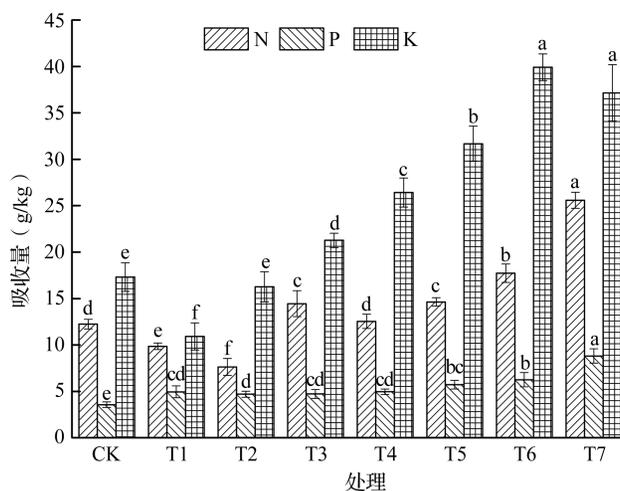


图2 不同处理油菜氮、磷、钾吸收量的差异

油菜磷吸收量随着磷肥施加量增加呈先增加后趋于平衡，最后又增加的趋势。T1 ~ T7油菜磷吸收量显著高于CK，T7最高且显著高于其他处理，T5和T6差异不显著。T1处理显著高于CK，说明微生物菌剂加入有利于土壤中磷的释放，促进油菜对磷的吸收。T3、T4和T5油菜磷吸收量随着磷肥施加量增加并没有显著增加，但是T5生物量却显著高于T3、T4 (图1)。这种现象与细菌转化磷和土壤吸附磷有关^[30]，在无机磷供给不充足的条件下，土壤对磷吸附和微生物对磷的吸收会与植物吸收磷发生竞争，所以植物磷吸收量没有显著性差异。T6和T7油菜磷吸收量较高，磷肥施加量也分别达到42.39和52.99 mg/kg，超过土壤对磷的固持能力^[31]，提高土壤中游离态无机磷的含量，促进油菜对磷的吸收。

本研究施加的化肥不包含钾元素，微生物菌剂也不含钾，但是油菜钾吸收量较高，且随着化肥用量增加呈递增趋势。说明微生物菌液的加入强化了土壤中钾的释放，促进油菜对钾的吸收。本研究使用的细菌是胶质芽孢杆菌，属于硅酸盐细菌，诸多研究表明硅酸盐细菌可以分解土壤中的含钾矿物，促进土壤中钾的释放^[32-33]。

2.3 不同处理土壤电导率的差异

土壤电导率反映了土壤电学性质和肥力特性,对于盐碱化土壤,电导率大小可以反映盐分的高低。图3为不同处理土壤电导率的差异,由图3可知,不同处理上层土壤电导率显著高于下层土壤,微生物活动、根系分泌物及化学肥料截留等三者单独或协同作用是产生这种差异的主要原因。对于上层土壤,加入多糖微生物菌液和化肥处理的土壤电导率显著低于对照,但是它们之间并没有显著性差异。该结果说明多糖微生物菌液对上层土壤离子具有缓冲调节作用,微生物菌液富含不同分子量的多糖,对金属离子具有吸附作用,导致游离态离

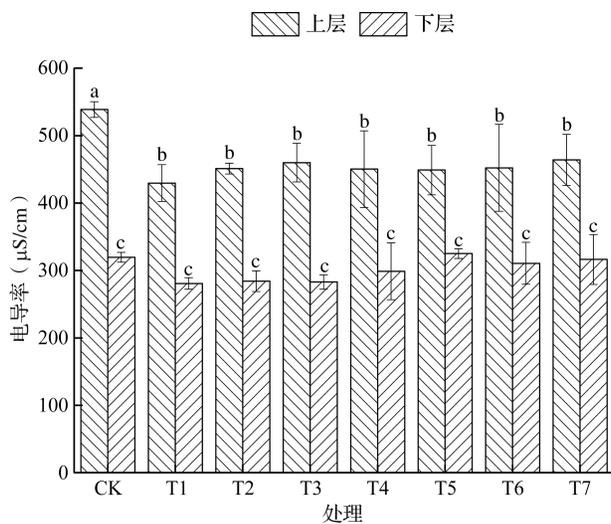


图3 不同处理土壤电导率的差异

子浓度降低^[34];微生物菌液中多糖会促进土壤水稳性团聚体形成,抑制离子的淋溶^[35];微生物菌液中细菌会吸收土壤中营养元素和离子,转化为生物物质。各处理下层土壤电导率没有显著性差异,说明多糖微生物菌液和化肥耦合使用会提高化肥利用率和土壤对化肥的固持能力,抑制化肥在垂直方向淋失。

2.4 不同处理土壤有效磷和全磷的差异

有效磷容易被植物吸收,如果淋溶到地表水,会引起水体富营养化。不同处理土壤有效磷和全磷的差异如表2所示,CK和T1上层土壤有效磷低于下层,这与油菜对上层土壤有效磷吸收相关。T1上、下层土壤有效磷含量显著低于CK,但是土壤中全磷含量高于对照,说明加入富含多糖的微生物菌液会使有效态磷向难利用形态转化,不利于植物吸收,导致油菜生物量较低(图1)。微生物菌液和化肥一起施加,上层土壤有效磷显著高于CK和T1,但是随着化肥加入量增加,除T4外,其余处理并没有显著性差异。这与土壤对磷的固持能力有关,土壤对有效态磷固持存在一个阈值^[36],因此化肥的加入可以提高上层土壤有效磷的含量,但并没有随着化肥用量增加而呈递增趋势。加入化肥处理的上层土壤有效磷含量高于下层,但是各处理下层土壤有效磷含量没有显著性差异,说明有效磷大部分被油菜所吸收,抑制了有效磷在垂直方向的淋失。

表2 不同处理土壤有效磷和全磷的差异

土层	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
有效磷 (mg/kg)	上层	3.72 ± 0.43c	3.00 ± 0.05d	4.58 ± 0.64b	5.07 ± 0.19ab	5.55 ± 0.10a	4.47 ± 0.32b	5.03 ± 0.37ab	5.07 ± 0.20ab
	下层	4.54 ± 0.24a	3.38 ± 0.55b	3.44 ± 0.19ab	4.29 ± 0.76ab	3.71 ± 0.75ab	3.98 ± 0.69ab	3.87 ± 0.71ab	4.04 ± 0.40ab
全磷 (g/kg)	上层	0.70 ± 0.07c	0.75 ± 0.05abc	0.73 ± 0.03bc	0.81 ± 0.04ab	0.85 ± 0.01a	0.80 ± 0.06abc	0.78 ± 0.06abc	0.79 ± 0.01abc
	下层	0.71 ± 0.07ab	0.84 ± 0.07a	0.70 ± 0.04b	0.71 ± 0.04ab	0.73 ± 0.01ab	0.81 ± 0.11ab	0.81 ± 0.04ab	0.84 ± 0.05a

注:图中小写字母表示同一层土壤不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

由表2可知,施加微生物菌液和化肥处理的上层土壤全磷含量高于CK,但除了T3和T4外,其他处理和CK无显著性差异。下层土壤全磷含量无显著性差异。说明随着化肥施加量增加,大部分磷被植物同化吸收,不能显著增加土壤中全磷含量。对同一处理不同土层土壤全磷进行独立样本t检验($P < 0.05$),结果表明,除T4处理外,其它处理上、下层土壤全磷没有显著性差异。说明不同处理对

上、下两层土壤全磷影响较小。

2.5 不同处理土壤铵态氮、硝态氮和全氮的差异

尿素分解产物为铵态氮,由表3可知,随着化肥用量增加,土壤铵态氮含量呈升高趋势。T1、T2和T3上层土壤铵态氮含量和CK没有显著性差异;T4和T5上层土壤铵态氮显著高于CK,但是增加幅度不大;T6和T7处理土壤铵态氮含量显著高于CK,增加幅度较大。对于下层土壤,除T6和T7

处理外, 其他处理铵态氮含量没有显著性差异, 说明合理的施肥量不会导致铵态氮的淋失, 超过一定阈值之后, 下层土壤铵态氮含量会急剧增加 (T6、T7)。对同一处理上、下两层土壤全磷进行独立样本 *t* 检验 ($P < 0.05$), 结果表明, 除 T7 处理上、下

层土壤铵态氮具有显著性差异外, 其它处理上、下层土壤铵态氮均无显著性差异。对于施肥量最高的 T7 处理, 下层土壤铵态氮高于上层, 说明即使微生物和植物对氮进行吸收, 但是随着化肥施用量的增加, 仍然不能抑制铵态氮向下运移。

表 3 不同处理土壤铵态氮、硝态氮和全氮的差异

	土层	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
铵态氮 (mg/kg)	上层	11.13 ± 1.55d	11.49 ± 0.55d	13.23 ± 0.81cd	11.34 ± 1.09d	14.43 ± 0.27c	14.30 ± 0.90c	18.05 ± 1.73b	25.31 ± 1.31a
	下层	11.34 ± 0.22c	12.08 ± 0.85c	13.08 ± 0.76c	12.00 ± 1.64c	12.39 ± 1.55c	13.33 ± 0.65c	15.63 ± 1.17b	28.58 ± 1.20a
硝态氮 (mg/kg)	上层	16.64 ± 1.36bc	13.42 ± 1.91d	15.43 ± 0.94cd	12.79 ± 1.73d	15.50 ± 1.16cd	18.98 ± 1.66ab	21.14 ± 1.33a	21.64 ± 2.13a
	下层	11.46 ± 1.63abc	10.39 ± 0.73abc	12.67 ± 1.02a	9.16 ± 1.48c	9.42 ± 0.66c	9.86 ± 1.33bc	12.44 ± 1.85ab	12.86 ± 1.95a
全氮 (g/kg)	上层	2.67 ± 0.24a	2.60 ± 0.24ab	2.37 ± 0.16bc	2.11 ± 0.49c	2.27 ± 0.07c	2.13 ± 0.08c	2.23 ± 0.11c	2.21 ± 0.05c
	下层	2.48 ± 0.27a	2.52 ± 0.06a	2.46 ± 0.09ab	2.28 ± 0.23bc	2.17 ± 0.08c	2.21 ± 0.06c	2.23 ± 0.03bc	2.14 ± 0.04c

铵态氮带正电荷, 易被带负电荷的土壤胶体所吸附, 硝态氮本身带负电, 不容易与土壤离子结合, 是土壤中最容易淋失的氮组分之一^[37]。对同一处理上、下两层土壤全磷进行独立样本 *t* 检验 ($P < 0.05$), 结果表明, 除 T1 和 T3 处理上、下层土壤硝态氮无显著性差异外, 其它处理上、下层土壤硝态氮存在显著性差异, 且上层土壤硝态氮显著高于下层。上层土壤硝态氮随着施肥量的增加变化较大, 而下层土壤变化较小。施肥量较高的 T6 和 T7 处理上层土壤硝态氮含量显著高于 CK, 而下层土壤与 CK 没有显著性差异。研究表明, 当土壤硝态氮含量高于 20 mg/kg 时^[38], 硝态氮就有淋失的风险。T6 和 T7 处理上层土壤硝态氮含量高于 20 mg/kg; 下层土壤硝态氮含量低于 20 mg/kg (12.44 和 12.86 mg/kg), 并且和 CK 处理没有显著性差异, 说明高施肥量并没有增加硝态氮淋失的风险。上述结果证明微生物菌液和适量化肥混合使用对硝态氮向下运移具有一定的阻控作用。

上层和下层土壤全氮含量随着化肥用量的增加呈降低趋势。对于上层土壤, T1 处理和 CK 无显著性差异, 其他处理显著低于 CK, 表明施加化肥降低了土

壤全氮含量, 这与已报道的一些试验结果相反^[39-40], 可能是化肥和微生物菌剂的协同作用加速了土壤氮的转化并促进植物对氮源的吸收。上、下层土壤铵态氮、硝态氮含量变化表明, 每盆油菜尿素用量低于 1.2 g 时, 不会导致氮素淋溶风险, 并且还会促进油菜对氮素的吸收, 提高氮肥利用率。

2.6 不同处理土壤速效钾和全钾的差异

不同处理土壤速效钾和全钾的差异如表 4 所示, 土壤中的速效钾含量均高于 116 mg/kg, 处于较高等级^[21]。上层土壤速效钾含量明显高于下层土壤, 这与植物根系和微生物对上层土壤含钾矿物的活化有关。比较同一土层不同处理土壤速效钾含量, T5 处理上、下层土壤速效钾含量最低, 但是油菜钾含量较高 (图 2), 说明微生物菌液与化肥耦合使用存在最佳配比 (T5), 该比例可有效促进土壤含钾矿物活化, 促进植物对钾的吸收, 土壤有效钾含量降低。CK 处理下层土壤速效钾高于其他处理但是油菜钾含量显著低于 T3 ~ T7 处理 (图 2), 说明化肥和微生物菌液混合使用提高了土壤中细菌活性, 加速钾的活化并促进植物对钾的吸收。

表 4 不同处理土壤速效钾和全钾的差异

	土层	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
速效钾 (mg/kg)	上层	167.05±9.23a	157.73±2.31ab	157.72±2.30ab	164.30±10.57ab	167.04±8.32a	141.73±10.06b	141.74±2.30b	160.40±6.03ab
	下层	140.40±4.00a	143.06±6.11a	137.73±6.11ab	140.40±10.57a	132.40±4.00ab	117.75±14.04b	121.7±16.64ab	121.70±18.03ab
全钾 (g/kg)	上层	10.15±0.34a	10.87±0.80a	10.94±0.71a	10.47±1.12a	10.55±1.38a	11.40±0.74a	11.32±0.20a	11.66±1.33a
	下层	10.28±0.74a	11.32±0.52a	11.00±0.49a	11.66±1.28a	11.35±0.99a	10.67±1.19a	11.92±0.67a	11.53±0.20a

由表4可知,土壤的全钾含量约为1%,对同一处理上、下两层土壤全磷进行独立样本t检验($P<0.05$),结果表明,同一处理上、下层土壤全钾含量没有显著性差异。所有试验处理并没有施加钾肥,但是胶质芽孢杆菌(硅酸盐细菌)对含钾矿物具有较好的分解能力,是生物肥料使用频率较高的菌种之一^[33]。施加微生物菌液处理的土壤全钾与CK没有显著性差异,因为微生物菌液活化钾的比例较小,相比于土壤较高全钾含量,单茬油菜种植并不能引起土壤全钾总量的变化。

3 结论

固定微生物菌液用量,油菜生物量随着氮、磷化肥用量的增加呈先降低后增加,最后趋于平稳的趋势。T5处理(每盆油菜施加50 mL微生物菌液、1.2 g尿素和0.72 g二水磷酸二氢钠)油菜生物量最高。

富含多糖微生物菌液有助于油菜对磷的吸收。微生物菌液和植物吸收氮存在竞争作用,微生物菌液单独或与低剂量尿素(低于T5处理用量)混合使用会降低油菜对氮素的吸收。

与CK相比,化肥用量低于T5处理的用量时,不会增加氮、磷淋溶风险。

加入微生物菌液可以活化土壤中钾,促进油菜对钾的吸收。

参考文献:

- [1] Moss B. Water pollution by agriculture [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society b: Biological Sciences*, 2008, 363 (1491): 659-666.
- [2] Withers P J, Neal C, Jarvie H P, et al. Agriculture and eutrophication: Where do we go from here? [J]. *Sustainability*, 2014, 6 (9): 5853-5875.
- [3] 刘钦普. 农田氮磷面源污染风险研究评述[J]. *土壤通报*, 2016, 47 (6): 1506-1513.
- [4] 石嫣,程存旺,朱艺,等. 中国农业源污染防治的制度创新与组织创新——兼析《第一次全国污染源普查公报》[J]. *农业经济与管理*, 2011, 2: 27-37.
- [5] 袁丽金,巨晓棠,张丽娟,等. 设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18 (1): 18-23.
- [6] 汪东炎. 华北潮褐土区露地菜地氮磷淋溶特征及阻控措施研究[D]. 北京:中国农业科学院,2019.
- [7] 刘坤,任天志,吴文良,等. 英国农业面源污染防治对我国的启示[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35 (5): 817-823.
- [8] 杨林章,吴永红. 农业面源污染防治与水环境保护[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33 (2): 168-176.
- [9] 石敦杰. 氮磷肥减量与生态沟渠拦截对农田氮磷面源污染防治效果研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2018.
- [10] 黄东风,李卫华,王利民,等. 水肥管理措施对水稻产量、养分吸收及稻田氮磷流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27 (2): 62-66.
- [11] Wesstrom I, Joel A, Messing I. Controlled drainage and sub-irrigation—A water management option to reduce non-point source pollution from agricultural land [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014, 19 (8): 74-82.
- [12] 朱晓瑞,郑向群,张春雪,等. 天津地区不同茄子种植模式对土壤氮磷淋溶损失的影响[J]. *环境污染与防治*, 2019, 41 (10): 1160-1165.
- [13] 杨涵博,赖睿特,张克强,等. 硝化抑制剂阻控养殖肥液灌溉土壤氮素淋失[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38 (8): 1751-1758.
- [14] 王静,王允青,张凤芝,等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原水稻产量、氮肥利用率及稻田氮素的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33 (5): 211-216.
- [15] 李卓瑞,韦高玲. 不同生物炭添加量对土壤中氮磷淋溶损失的影响[J]. *生态环境学报*, 2016, 25 (2): 333-338.
- [16] 盖霞普,刘宏斌,翟丽梅,等. 玉米秸秆生物炭对土壤无机氮素淋失风险的影响研究[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34 (2): 310-318.
- [17] 胡宏祥,汪玉芳,陈祝,等. 秸秆还田配施化肥对黄褐土氮磷淋失的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29 (5): 101-105.
- [18] 廖宗文,卫允明,毛小云. 新型肥料的时代需求与技术创新[J]. *磷肥与复肥*, 2016, 34 (10): 5-13.
- [19] 廖宗文,毛小云,刘可星. 重视有机营养研究与有机碳肥创新——关于植物营养经典理论的现代思考[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23 (6): 1694-1698.
- [20] Wu Y, Liu J, Shen R, et al. Mitigation of nonpoint source pollution in rural areas: From control to synergies of multi ecosystem services [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607: 1376-1380.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析(3版)[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [22] 刘凤枝,李玉浸. 土壤检测分析技术[M]. 北京:化学工业出版社,2015.
- [23] 李想,戴维,高红菊,等. 基于BP神经网络的粮食产量与化肥用量相关性研究[J]. *农业机械学报*, 2017, 48 (S1): 186-192.
- [24] 常文智,马鸣超,李力,等. 施用胶质类芽孢杆菌对土壤生物活性和花生产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014 (1): 84-89.
- [25] 吕晓惠,杨宁,李絮花,等. 化肥不同用量对有机基质栽培甜椒产量、品质及养分吸收的影响[J]. *山东农业科学*, 2013, 45 (7): 97-100.
- [26] 邓天天,周士波,胡焯,等. 添加微生物菌剂对土壤中氮

- 磷形态及含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(9): 276-280.
- [27] Inselsbacher E, Umana H N, Stange F C, et al. Short-term competition between crop plants and soil microbes for inorganic N fertilizer[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(2): 360-372.
- [28] Kathryn A H, Roland B, Richard D B. Do plant species with different growth strategies vary in their ability to compete with soil microbes for chemical forms of nitrogen? [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40(1): 228-237.
- [29] Schimel J P, Bennett J. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm[J]. Ecology, 2004, 85(3): 591-602.
- [30] Pan Y, Ding D D, Cai H M, et al. A novel Brassica-rhizotron system to unravel the dynamic changes in root system architecture of oilseed rape under phosphorus deficiency[J]. Annals of Botany, 2016, 118(2): 173-184.
- [31] Mowell R, Sinaj S, Sharpley A, et al. The use of isotopic exchange kinetics to assess phosphorus availability in overland flow and subsurface drainage waters[J]. Soil Science, 2001, 166(6): 365-373.
- [32] Zahra M K, Monib M, Abdel-Ai Sh I, et al. Significance of soil inoculation with silicate bacteria[J]. Zentralblatt für Mikrobiologie, 1983, 139(5): 349-357.
- [33] Sheng X F. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus* [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(10): 1918-1922.
- [34] 邹春艳, 于杨格, 连宾. 胶质芽孢杆菌对重金属离子 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Cr^{3+} 的吸附与解吸特征[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2018, 41(1): 68-75.
- [35] 潘彬. 长期不同施肥及产胞外多糖菌株对土壤团聚体结构与生物活性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [36] 刘蕾, 王凌, 徐万强, 等. 设施土壤磷素淋失环境阈值及防控措施[J]. 华北农学报, 2019, 34(S1): 197-203.
- [37] Farmaha B S. Evaluating animo model for predicting nitrogen leaching in rice and wheat [J]. Arid Land Research and Management, 2014, 28(1): 25-35.
- [38] 新楠, 卢树昌, 王小波, 等. 天津市设施菜田氮投入状况评价与面源污染风险分析[J]. 河南农业科学, 2013, 42(6): 68-72.
- [39] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 425-428.
- [40] 李博, 卢瑛, 熊正琴. 施用生物质炭对集约化菜地土壤肥力质量的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1345-1357.

The effect of polysaccharide microbial culture on nutrient uptake of rape and soil nitrogen and phosphorus leaching

YU Song-can, WANG Xun-rui, MA Ming, WANG Yi-ting, HAO Jian-chao*, ZHOU Wei, LIU Hui-fen (Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

Abstract: In order to explore the effects of mixture of microbial culture and chemical fertilizer on promoting assimilation of nutrients and controlling nitrogen and phosphorus leaching, a certain volume of microbial culture and different amounts of fertilizer were mixed and added into potted rape. After harvesting the rape, biomass and nitrogen, phosphorus, potassium contents of rape were measured, and the physical and chemical properties of soil in different layers were analyzed. The results showed that the rape biomass of T5 (50 mL microbial culture, 1.2 g urea and 0.72 g $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ was mixed and added into rapepot containing 4.5 kg soil) was the highest among all treatments, and the rape had high assimilation on nitrogen, phosphorus and potassium. With the increase of chemical fertilizer, the available phosphorus of top soil increased slowly, while the available phosphorus of subsoil had no significant difference with that of the control. When chemical fertilizer level was lower than that of T5, the ammonium nitrogen of topsoil was higher than that of the control and the nitrate nitrogen showed reverse change, and the ammonium nitrogen and the nitrate nitrogen of subsoil had no significant difference with the control, which showed low leaching of nitrogen. When the chemical fertilizer was higher than that of T5, the ammonium nitrogen and the nitrate nitrogen of topsoil were significantly higher than that of the control, and the nitrate nitrogen of subsoil increased insignificantly. However ammonium nitrogen of subsoil increased significantly, which increased the risk of nitrogen leaching. Microbial culture activated potassium in the soil, which promoted the absorption of rape on potassium. The research indicated that the mixture of microbial culture and an appropriate amount of chemical fertilizer was helpful to reduce the amount of chemical fertilizer but did not reduce the yield, have a certain inhibitory on nitrogen and phosphorus leaching, and promote the absorption of rape on potassium from soil.

Key words: microbial culture; polysaccharide; vertical leaching; biogeochemical cycle; nitrogen; phosphorus