

# 氮肥减量配施微生物菌剂对灌淤土花椰菜产量及土壤微生物的影响

李凤霞, 赵莹

(宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 银川 750002)

**摘要:**采用 biolog 微生物鉴定系统和平板稀释法探讨了氮肥减量配施自制微生物菌剂对花椰菜产量及根际土壤微生物的影响研究。结果表明:  $T_4$  (2/3 倍 N 肥用量+微生物菌剂)、 $T_5$  (3/4 倍 N 肥用量+微生物菌剂) 和  $T_6$  (常规 N 肥用量+微生物菌剂) 处理土壤细菌、放线菌和微生物总数数量分别增加了 57.6%~321.54%, 66.81%~83.62% 和 135.40%~232.07%, 而土壤真菌数量降低 34.08%~41.80%。与对照相比各施肥处理增加了土壤细菌占微生物总数的比例, 降低了真菌和放线菌的比例,  $T_5$  和  $T_4$  处理效果最显著。与对照相比  $T_4$ 、 $T_5$  和  $T_6$  处理显著提高了土壤微生物群总落碳源利用能力。  $T_4$ 、 $T_5$  和  $T_6$  处理显著增加了土壤微生物群落对碳水化合物、羧酸类、聚合物类和氨基酸类碳源的代谢水平,  $T_3$  (单施微生物菌剂) 处理显著增加了土壤微生物群落对羧酸类和聚合物类碳源的代谢水平。  $T_5$  和  $T_6$  处理对增加花椰菜产量、生物量效果接近, 花椰菜产量分别增加了 12.35% 和 10.75%, 地下干生物量增加了 57% 左右,  $T_2$  (单施氮肥) 和  $T_4$  处理增加花椰菜产量 5% 左右。

**关键词:** 花椰菜; 氮肥减量; 微生物菌剂; 土壤微生物多样性; 微生物数量

中图分类号: S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0094-07

## Effect of Nitrogen Fertilizer Reduction With Microbial Inoculants on Broccoli Production and the Influence of the Soil Microbial Characteristics

LI Fengxia, ZHAO Ying

(Agriculture Resource and Environment Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002)

**Abstract:** The effect of nitrogen fertilizer reduction with microbial inoculants on broccoli production and the impact of the soil microbial characteristics have been studied using biolog microbial identification system and plate dilution methods. The results indicate that the total numbers of soil bacteria, actinomyces and microbial quantity of  $T_4$  (2/3 times of N fertilizer + microbial fertilizer treatment),  $T_5$  (3/4 times of N fertilizer + microbial fertilizer treatment) and  $T_6$  (normal amount of N fertilizer + microbial fertilizer treatment) treatments increase by 57.6%~321.54%, 66.81%~83.62% and 135.40%~232.07% and the number of soil fungi reduces by 34.08%~41.80%. Compared with the control, all the fertilizer treatments increase the proportion of the total number of microorganisms of soil bacteria, while the proportion of the fungi and actinomyces is reduced, the effects of  $T_4$  and  $T_5$  treatments are the most significant.  $T_4$ ,  $T_5$ , and  $T_6$  treatments significantly increase the soil microbiota total carbon source utilization ability.  $T_4$ ,  $T_5$  and  $T_6$  treatments significantly improve the carbon source metabolism activity of soil microbial community on carbohydrate, acid, polymer and amino acids.  $T_3$  (microbial fertilizer) treatment significantly increases the carbon source metabolism activity of soil microbial community on carboxylic acid and polymer.  $T_5$  and  $T_6$  treatments have the same effect on the effect of increasing broccoli production and biomass, the broccoli production increases by 12.35% and 10.75% respectively, underground stem biomass increases about 57%,  $T_2$  (normal amount of N fertilizer) and  $T_4$  treatments increased broccoli yields by about 5%.

**Keywords:** broccoli; nitrogen fertilizer reduction; microbial inoculants; microbial diversity; microbial number

长期以来由于农田大量使用化肥已造成土壤板结、土壤次生盐渍化、土地生产力下降、土壤微生物活性降低等一系列问题。研究表明全国农田土壤氮肥利用率不足 35%，损失率过半，相当于每年损失氮肥 500 亿元。同时，氮素流失还造成了严重的环境危害，如水体富营养化。花椰菜作为一种大众蔬菜，近年来在宁夏种植面积也比较大。宁夏春小麦收获后，复种短生育期的蔬菜既满足了农户一年两季的农田土地种植利用，又因其较高的经济效益受到广大农户的青睐。但是在麦后花椰菜种植中，大部分菜农为了片面追求高产而忽视品质，大量使用化肥，特别是氮肥的大量施用现象非常普遍，并导致蔬菜品质下降<sup>[1-2]</sup>。为了解决蔬菜高产与氮肥大量施用而引起蔬菜品质下降和环境污染这一矛盾，如何提高作物产量并提高氮肥利用率已是亟待解决的问题。

土壤微生物和土壤氮素转化紧密相关，土壤中氮素生化作用过程均有微生物来主导。功能微生物菌剂是经过特殊工艺制成的含有有效活菌并应用于土壤或植物的生物制剂或活菌制剂，其具有增加土壤肥力、提高土壤有效养分、增强植物对土壤养分的吸收、提高作物的抗病能力、改善作物根际环境等多种功能<sup>[3-5]</sup>。目前对功能微生物制剂在作物增产、抗病性和烟草连作障碍等方面的研究较多<sup>[6-9]</sup>，而针对微生物菌剂在替代化学肥料尤其氮肥方面的研究报道不多<sup>[10-11]</sup>，关于露地花椰菜微生物菌剂使用并部分替代花费及氮肥减量使用上还鲜有报道。本研究采用田间试验探讨了氮肥减量配施自制微生物菌剂对花椰菜产量及根际土壤微生物数量、微生物多样性的影响研究，以期为蔬菜氮肥减量和微生物菌剂的使用、灌淤土合理科学的施肥管理提供科学依据，并为微生物菌剂在生态农业中的推广应用提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验区概况

田间试验布置在宁夏永宁县农作物繁育试验基地。该试验基地位于东经 106°16′，北纬 38°19′，海拔 1 120 m，年均降水量 201 mm，7—9 月三个月降水量占全年降雨量的 62%，年平均蒸发量达 1 470 mm，为降水量的 8.6 倍。年均气温 8.7℃，年平均日照时数达 2 866.7 h，大于等于 10℃的积温平均为 3 245.6℃，无霜期平均 167 d<sup>[12]</sup>。该试验地近几年一直进行春小麦种植和麦后露地花椰菜复种一年两季的轮作耕作方式。试验地土壤为典型的黄河灌溉灌淤土，试验地土壤 pH 值 8.1，有机质 13.2 g/kg，全氮 0.92 g/kg，碱解氮 101 mg/kg，速效磷 21.0 mg/kg，速效钾 83 mg/kg。

## 1.2 试验设计

田间试验采用随机区组试验设计，试验共设 6 个处理，分别为：T<sub>1</sub>：空白对照；T<sub>2</sub>：常量氮肥(N 肥尿素)；T<sub>3</sub>：微生物菌剂；T<sub>4</sub>：微生物菌剂+2/3 氮肥用量；T<sub>5</sub>：微生物菌剂+3/4 氮肥用量；T<sub>6</sub>：微生物菌剂+常量氮肥。每处理设 3 个重复，每个小区面积 15 m<sup>2</sup>。

2015 年 7 月春小麦收获后整地、起垄并于 7 月下旬进行花椰菜种植试验，花椰菜定植前在营养钵育苗至 5~6 片叶后移栽至大田，田间花椰菜起垄双行栽培，垄间距 1 m，株间距 0.4 m，每 667 m<sup>2</sup> 定苗 3 200 株，缓苗后于 2015 年 8 月初和 9 月初分期进行施肥试验。试验田间设置和施肥量如下(见表 1)，农民常规氮肥用量：尿素(含氮 46%)20 kg/667 m<sup>2</sup>(农户麦后复种花椰菜期间不施磷钾肥)，施肥后进行灌水，氮肥用量分两次施入，每次用量 1/2，采用穴施施入离根系 10 cm 处。微生物菌剂为宁夏农林科学院农业资源与环境研究所自主研发，该菌剂由多种固氮、解磷微生物组合而成，微生物菌剂原液 5 ml 稀释后一次施入花椰菜根部。在花椰菜收获前对花椰菜根际土壤进行取样，分析土壤微生物数量及群落多样性情况。

表 1 各施肥试验处理设置

编号	处理	N	微生物菌剂
		20 kg/667 m <sup>2</sup>	16 L/667 m <sup>2</sup>
T <sub>1</sub>	CK	0	0
T <sub>2</sub>	N	20 kg	0
T <sub>3</sub>	Micr	0	16 L
T <sub>4</sub>	2/3 N+Micr	13.3 kg	16 L
T <sub>5</sub>	3/4 N+Micr	15 kg	16 L
T <sub>6</sub>	N+Micr	20 kg	16 L

## 1.3 土样采集

所有试验处理小区土壤取样均采用土钻在花椰菜收获前(2015 年 9 月 30 日)取距离花椰菜根际 5 cm 的 0—20 cm 深度土层土样，每小区蛇行路线取土样，5 点混合而成，混合后将各施肥处理土壤样品分成两份分别装入无菌自封塑料袋中，置于冰桶中迅速带回实验室，一份鲜样用于分析土壤微生物区系、微生物碳源利用多样性特征；另一份土样风干，过筛，用于土壤有机质、速效养分等含量测定。

## 1.4 土壤微生物群落数量、功能多样性特征、土壤理化性质及产量测定方法

土壤微生物区系采用平板记数法，所用培养基分别为细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基；真菌用马丁氏培养基；放线菌用高氏一号培养基<sup>[13]</sup>。土壤微生物群落多样性测定采用 Biolog ECO-plate 鉴定系统。即将供试新鲜土壤 10% 的稀释液接种到 Biolog ECO-plate 的 31 种不同碳源的微孔后，将 Biolog

ECO-plate 板置于 28℃ 的恒温培养箱中进行恒温培养,并分别于培养的 0,1,2,3,4,5,6,7 d 测定波长为 590 nm 的光密度值即平均颜色变化率 Average well color development(AWCD),每个生态板上微生物群落活性用 AWCD 值来表达<sup>[14]</sup>。AWCD =  $\sum (C - R)/n$ ,式中  $C$  为每个碳源孔在 590 nm 的光密度值, $R$  为对照孔的光密度值, $n$  为培养基碳源种类数,生态板孔数  $n$  为 31。

花椰菜产量采用五点取样法,田间每处理小区按“S”型路线选取五棵花椰菜,连根挖起,分别将花椰菜地上菜心和茎叶部分割下称鲜重,地下根系部分清洗干净凉干水分后称鲜重,将茎叶与地下根系荫干后置于烘箱于 105 度烘至恒重,称干重。土壤理化性质采用常规分析方法<sup>[15]</sup>(10 土壤理化)。花椰菜每单位面积经济效益采用产量与收获时的收购价格相乘即得。

试验数据采用 DPS 9.5 软件和 Excel 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 化肥配施微生物菌剂对花椰菜生物产量及经济效益的影响

各施肥处理花椰菜产量差异明显(表 2), $T_1$  处理花椰菜产量为 2 827.52 kg/667 m<sup>2</sup>,其余施肥处理花椰菜产量在 2 845.44~3 178.24 kg/667 m<sup>2</sup>,各处理增产大小依次为  $T_6, T_5, T_4, T_2, T_3, T_1$ ,各施肥处理花椰菜

产量分别增加了 12.35%,10.75%,5.61%,4.82%。说明单施微生物菌剂对花椰菜产量没有明显变化,微生物菌剂配合化肥处理菜花产量增产效果最明显。另外,各施肥处理与对照相比均增加了花椰菜植株和根系的干生物量(表 2),各微生物菌剂处理增加花椰菜地上干生物量在 7.62%~72.43%,说明微生物菌剂配合 3/4 量的常规施肥处理增加花椰菜地上干生物量效果最显著,微生物菌剂配合 3/4 量的常规施肥处理与微生物菌配合全量常规化肥处理增加地上干生物量 30%左右,单施微生物菌剂处理与对照处理之间相比花椰菜地上干生物量增加 7.62%。根系干生物量数据显示, $T_5$  与  $T_6$  处理增加花椰菜根系干生物量达到 57%,其次为  $T_4$  和  $T_3$  处理,增加花椰菜地下干生物量在 15.07%~18.86%,单施微生物菌剂处理与对照处理之间相比根系干生物量没有明显变化。

微生物菌剂各处理对花椰菜的经济效益影响结果表明(表 2),各施用处理均能增加花椰菜的经济效益,各处理花椰菜经济效益在 6 786~7 628 元/667 m<sup>2</sup>。微生物菌剂处理与对照处理相比经济效益不明显,其余各处理使花椰菜经济效益提高了 4.82%~12.40%,其提高经济效益大小依次为  $T_6, T_5, T_4, T_2, T_3, T_1$ 。 $T_6$  处理与  $T_5$  处理之间增加花单位面积效益差异不显著,说明微生物菌剂配施全量化肥与配施 1/4 减量化肥处理增收的效果一致,而微生物菌剂配施 1/3 减量化肥处理与单施全量化肥处理的效益一致。

表 2 化肥配施微生物菌剂对花椰菜生物产量和经济效益的影响

处理	花椰菜产量/ (kg·667m <sup>-2</sup> )	增加/%	地下干生物量/ (kg·667m <sup>-2</sup> )	增加/%	地上干生物量/ (kg·667m <sup>-2</sup> )	增加/%	经济效益/ (元·667m <sup>-2</sup> )	增加/%
$T_1$ :对照	2827.52c	—	48.12c	—	443.64d	—	6786	—
$T_2$ :常规氮肥用量	2963.84b	4.82	48.41c	0.60	481.47c	9.58	7113	4.82
$T_3$ :微生物菌剂	2845.44c	0.63	55.23b	15.07	491.93c	7.62	6829	0.63
$T_4$ :微生物菌剂+1/3 减量氮肥	2987.52b	5.61	57.05b	18.86	588.25b	24.39	7170	5.66
$T_5$ :微生物菌剂+3/4 减量氮肥	3131.52a	10.75	75.71a	57.73	764.99a	72.43	7516	10.75
$T_6$ :微生物菌剂+常规氮肥用量	3178.24a	12.35	75.76a	57.84	564.08b	27.15	7628	12.40

注:单位面积经济效益为花椰菜产量乘以收购价格,花椰菜收获时收购价为 2.4 元/kg。

2.2 化肥减量配施微生物菌剂对土壤微生物数量的影响

平板稀释培养结果表明(图 1),各个施肥处理对花椰菜根际土壤微生物数量有一定的作用。不同施肥处理显著增加了花椰菜根际土壤细菌数量,各处理土壤细菌数量幅度为 3.54~14.94×10<sup>5</sup> cfu/g 干土,较对照增加了 57.6%~321.54%,各处理增加的幅度大小依次为  $T_5, T_4, T_6, T_2, T_3, T_1$ 。 $T_4, T_5$  和  $T_6$  处理不同程度地降低了花椰菜根际土壤真菌数量, $T_4, T_5$  和  $T_6$  处理土壤真菌数量分别为 3.00×10<sup>3</sup> cfu/g 干土、2.65×10<sup>3</sup> cfu/g 干土、2.82×10<sup>3</sup> cfu/g 干

土,分别较对照处理降低真菌数量 34.08%,41.80%和 38.18%, $T_2$  处理与对照处理之间差异不明显, $T_3$  处理与对照相比增加真菌数量 34.08%。不同处理对放线菌数量和微生物总数的影响结果与细菌的趋势一致,各施肥处理显著增加了土壤放线菌数量,各处理土壤放线菌数量在 1.25~2.30×10<sup>5</sup> cfu/g 干土, $T_4, T_5$  和  $T_6$  处理较对照处理增加土壤放线菌数量达到 66%以上,分别为 83.62%,66.81%和 70.05%, $T_2$  和  $T_3$  处理增加土壤放线菌数量也分别为 38.08%和 27.19%。单施化肥处理土壤微生物总数较对照增加 49.50%,单施微生物菌剂处理土壤

微生物总数增加 88.67%，化肥配施微生物菌剂三个处理土壤微生物总数增加的幅度在 135.40%~

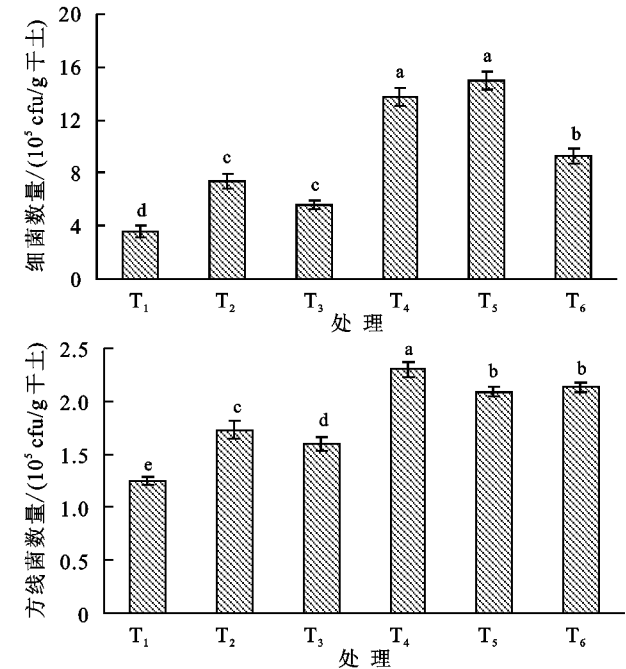


图 1 化肥减量配施微生物菌剂对花椰菜根际土壤微生物数量的影响

2.3 化肥减量配施微生物菌剂对土壤微生物类群结构的影响

研究表明(图 2),各处理对土壤微生物类群结构有明显的作用,与对照相比各施肥处理增加了土壤细菌占微生物总数的比例,降低了真菌和放线菌的比例。土壤细菌所占微生物总数的比例由对照的 73.16%增加至 87.58%,T<sub>5</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理细菌占微生物总数比例达到 85%以上,细菌占微生物总数比例大小依次为 T<sub>5</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>6</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>1</sub>。真菌占微生物总数比例由对照的 0.94%降低至 0.16%,T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理降低真菌幅度最大,其真菌占微生物总数比例不足 0.2%。不同菌剂施用处理后放线菌占微生物群落结构的比例由对照的 25.90%降低至 12.27%。真菌和放线菌占微生物总数的比例降低的幅度大小与细菌一直,即依次为 T<sub>5</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>6</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>1</sub>。表明施肥处理可以改变花椰菜根际细菌、真菌、放线菌等群落的组成结构,以适量化肥配施微生物菌剂提高细菌类群结构比例、降低真菌和放线菌类群结构比例效果最显著。

2.4 化肥配施微生物菌剂对土壤微生物功能多样性的影响

2.4.1 对土壤微生物群落总碳源利用的影响 土壤微生物群落在 biolog 微平板反应中,其新陈代谢过程中产生的脱氢酶能够降解有机物四氮碟茂,使其变色,根据颜色变化程度来反映微生物群落对 31 种碳源的代谢能力高低<sup>[16]</sup>。化肥配施微生物菌剂试验对花椰菜根际土壤微生物群落总碳源利用结果表明(图

232.07%。说明化肥配施微生物菌剂显著增加了花椰菜根际微生物总数量。

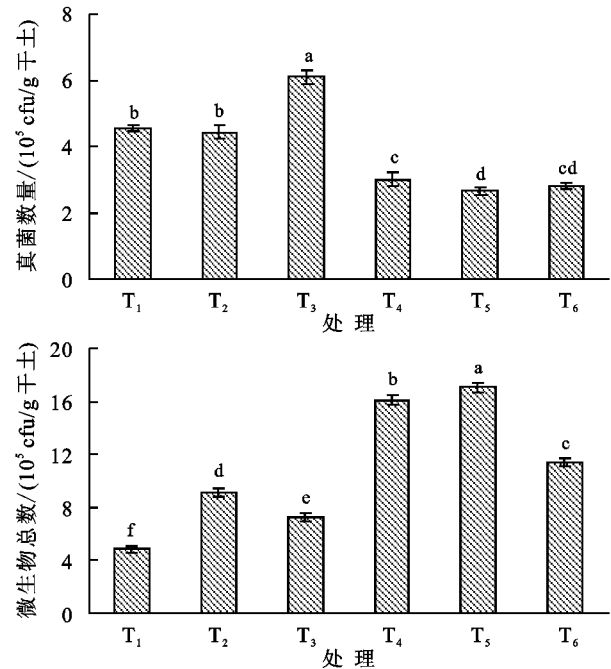


图 2 化肥减量配施微生物菌剂对花椰菜根际土壤微生物类群结构的影响

3),化肥配施微生物菌剂后土壤微生物群落碳源利用特征发生了明显变化,对照处理 T<sub>1</sub> 土壤微生物群落在培养 3 d 后总碳源代谢活性随着培养时间逐渐降低,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理土壤微生物群落在培养 3 d 后总碳源代谢活性随着培养时间基本稳定;T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 三个处理土壤微生物群落总碳源代谢活性随着培养时间逐渐增加。T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理 AWCD 值与对照处理之间差异显著,T<sub>1</sub> 处理土壤微生物群落总碳源代谢活性 AWCD 值在 0.38~0.85,T<sub>4</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理土壤微生物群落总碳源代谢活性在培养 3 d 后 AWCD 值表现最佳,分别达到 1.14~1.63,1.34~1.61。方差分析结果表明,微生物菌剂配合化肥处理显著增加了土壤微生物群落总碳源代谢活性,且常规化肥减量 1/3 后配施微生物菌剂处理达到了与常量化肥配施微生物菌剂同等的效果。

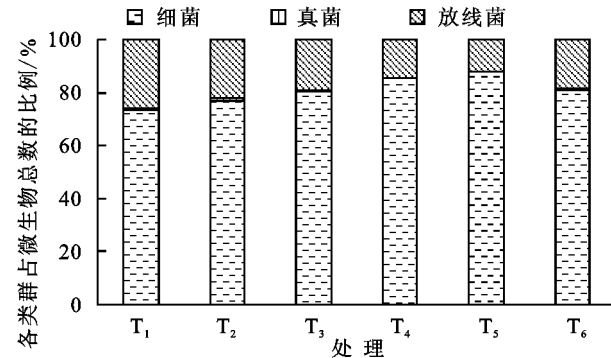


图 2 化肥减量配施微生物菌剂对花椰菜根际土壤微生物类群结构的影响

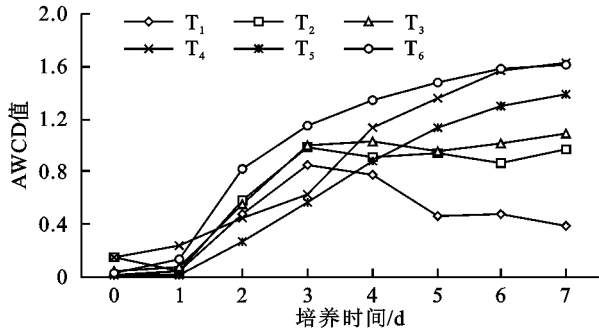


图3 化肥减量配施微生物菌剂对花椰菜根际土壤微生物总碳源利用的影响

2.4.2 对土壤微生物群落六类碳源利用的影响 将不同施肥处理花椰菜根际土壤微生物群落对六类碳源(羧酸类、聚合物类、碳水化合物类、酚类、氨基酸类、胺类)的利用进行了比较(见图4A—F)。各处理土壤微生物群落对酚类碳源的代谢水平整体较低,其AWCD值最高在1.04,而对碳水化合物类和聚合物类碳源的代谢水平相对较高,AWCD值最高分别为2.01,1.73。各处理土壤微生物群落AWCD值多数随着培养时间的延长呈现逐渐增加的趋势,个别呈现先增加后降低的趋势。

微生物菌剂配合化肥处理显著增加了花椰菜根际土壤微生物群落对羧酸类碳源的利用能力(图4A)。在培养后期第6d之后,各处理土壤微生物群落AWCD值大小依次为 $T_4 > T_6 > T_5 > T_3 > T_2 > T_1$ 。说明化肥配施微生物菌剂处理显著增加了土壤微生物群落对羧酸类碳源的利用能力,而且微生物菌剂施用处理土壤微生物群落对羧酸类碳源的利用能力较单施化肥处理显著。

$T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  处理土壤微生物群落对聚合物类碳源利用的AWCD值显著高于 $T_1$ 和 $T_2$ 处理(图4B)。 $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  处理土壤微生物群落AWCD值之间差异不显著。说明单施微生物菌剂与化肥配施微生物菌剂均增加了土壤微生物群落对聚合物类碳源的利用能力,而且化肥减量与全量配施微生物菌剂处理在增加花椰菜根际土壤微生物群落聚合物类碳源利用能力上效果一致。

$T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  三个处理土壤微生物群落对碳水化合物类碳源利用能力显著高于其他处理,AWCD值在培养后期达到2.0(图4C)。 $T_2$  和  $T_3$  处理土壤微生物群落对碳水化合物类碳源利用的AWCD值在培养后期为1.2左右,显著高于对照处理。 $T_2$  和  $T_3$  处理之间差异不明显,说明单施微生物菌剂与单施化肥处理土壤微生物群落对碳水化合物类碳源利用的能力一致,但化肥配施微生物菌剂处理在增加土壤微生物群落对碳水化合物类碳源利用能力上效果显著。

各施肥处理土壤微生物群落对酚类碳源利用的AWCD值处于0.5~1.0(图4D), $T_3$  和  $T_6$  处理土壤微生物群落在培养后期对酚类碳源代谢能力最高, $T_1$  和  $T_2$  处理土壤微生物群落在培养后期对酚类碳源代谢能力最低。说明单施化肥处理及化肥配施微生物菌剂处理能够显著增加土壤微生物群落对酚类碳源代谢能力。

$T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  五个处理土壤微生物群落对氨基酸类碳源利用能力显著高于 $T_1$ 处理(图4E),施肥显著增加了土壤微生物群落对氨基酸类碳源利用能力, $T_2$  和  $T_3$  处理土壤AWCD值远远低于 $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  三个处理,说明化肥和微生物菌剂配施较单施化肥或单施微生物菌剂能够显著提高土壤微生物群落对氨基酸类碳源利用能力。

施肥处理土壤微生物群落对胺类碳源利用的AWCD值显著高于对照处理(图4F),其中以 $T_4$  和  $T_6$  处理最高,在培养后期AWCD值达到1.6,对照处理AWCD值仅在0.5左右, $T_4$  和  $T_6$  处理之间差异不显著。

### 3 讨论

土壤微生物具有活化土壤养分、提高土壤中氮、磷等元素转化速率的作用,这种动态的转化作用犹如一个动态的施肥站<sup>[5]</sup>,在作物生长中随时提供营养元素供作物生长。本试验研究表明不同施肥处理对花椰菜产量、干生物量均有一定的促进作用。其中 $T_5$  和  $T_6$  处理显著增加花椰菜产量达10.75%和12.35%, $T_4$  和  $T_2$  处理增加花椰菜产量5.61%和4.82%,微生物菌剂配施氮肥处理花椰菜产量增产效果最明显,其中单施全量氮肥和氮肥减量1/3配施微生物菌剂处理对花椰菜的增产效果一致,氮肥减量1/4配施微生物菌剂处理与氮肥全量配施微生物菌剂处理对促进花椰菜增产效果相同。说明微生物菌剂可以部分替代氮肥促进作物生长及根系、地上干物质形成。本试验表明单施微生物菌剂在促进花椰菜根系干物质形成方面效果高于单施氮肥处理,该研究与贺冰<sup>[10]</sup>在番茄上得出的微生物菌剂配施氮肥提高根系体积结论一致。这是因为微生物菌剂中的有益微生物菌群在施用后定植于根系土壤,分泌有机酸可以溶解并释放出土壤颗粒中的养分<sup>[11]</sup>,从而延长了土壤中有效养分的供给<sup>[6]</sup>,促进了花椰菜根系生长,有利于根系对土壤中营养元素的吸收利用,从而促进地上部分干物质的积累和产量形成,也对作物经济效益的增加起到了积极的作用。

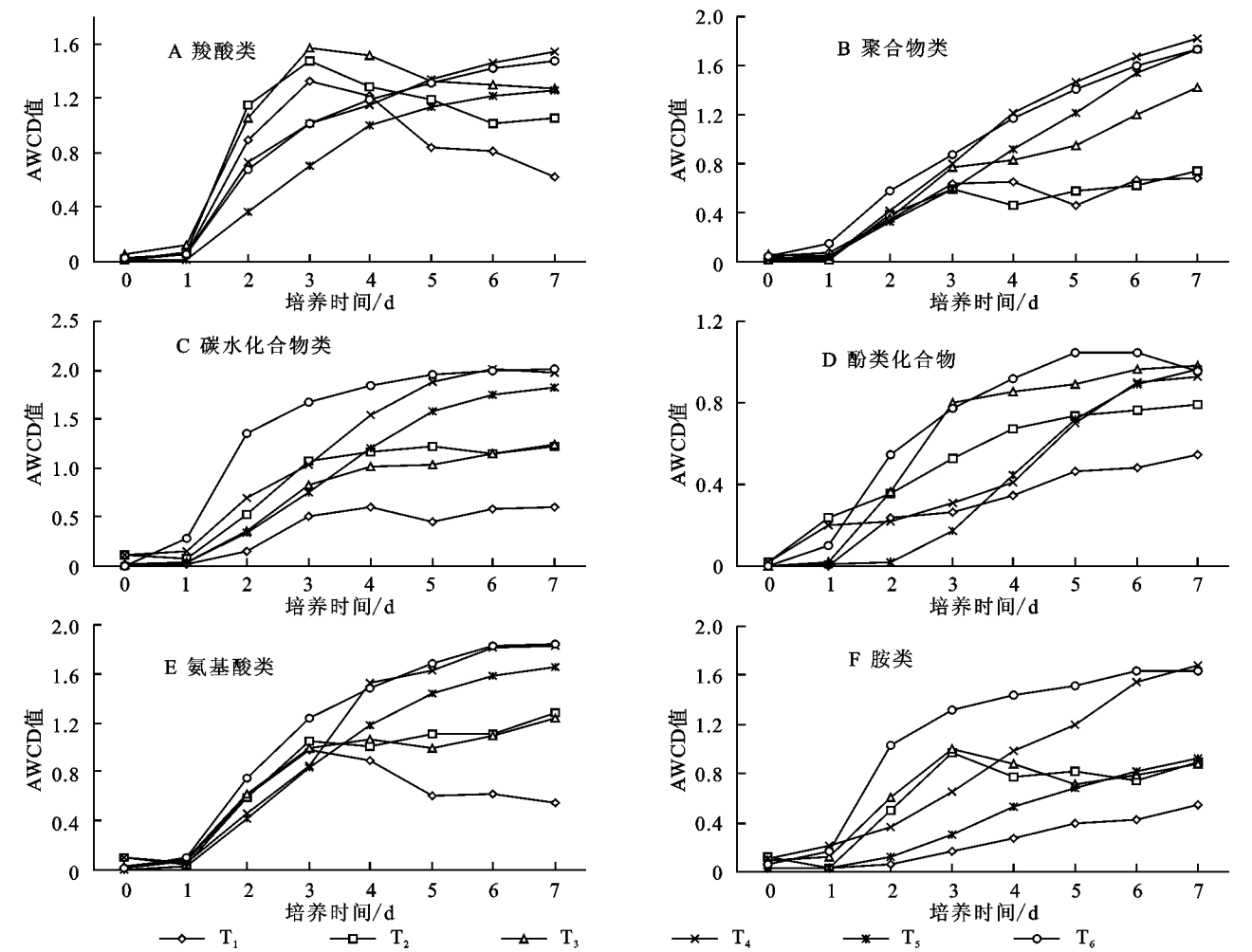


图 4 化肥减量配施微生物菌剂对花椰菜根际土壤微生物六类碳源利用的影响

本研究表明微生物菌剂配施氮肥处理显著增加花椰菜根际细菌、放线菌和微生物总数,提高了细菌占微生物总数的比例,这是花椰菜根部灌溉微生物菌剂后,利于土壤中主要矿质元素离子的吸收和利用,促进须根发育,提高了根系分泌物的形成,提高了土壤中细菌的种群数量,使土壤向“健康细菌型”方向发展<sup>[17]</sup>。另外,微生物菌剂配施氮肥处理降低了真菌数量,说明微生物菌剂配施氮肥促进了花椰菜根际土壤微生物群落的生长繁殖并提高了其活性,而对花椰菜根际真菌有一定的拮抗作用,从而抑制花椰菜根际真菌病害的发生,阻止了根际土传病害的传播,该结论与谭兆赞等在番茄上使用复合微生物菌剂的得出的结论一致<sup>[18]</sup>。本试验施用的自制微生物菌剂是微生物菌种经筛选后再按不同菌种的特性优化组合而成,有较好的协同效果,对土壤真菌有较强的拮抗作用,可促进土壤微生物群落向有益微生物菌群方向发展,提高土壤生态环境调控的效应。

土壤微生物群落的 BIOLOG 测定结果表明,土壤微生物群落在培养的 4 d 后各处理之间的 AWCD 值即碳源代谢活性差异更显著,说明微生物菌剂配施

氮肥处理后应在花椰菜生长后期进行取样,在后期更能反映各处理之间的差异,但这一结果与在番茄上得出的施肥后早期或中期取样结论恰恰相反<sup>[18]</sup>,其原因与研究对象即作物种类、作物生育期长短不同有关。而 T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理处理显著增加了土壤微生物群落对羧酸类和聚合物类碳源的代谢水平,即微生物功能多样性。与对照相比, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理显著增加了土壤微生物群落对碳水化合物、聚合物类和氨基酸类碳源的代谢水平,该结果与 T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 三个处理显著促进花椰菜产量及干物质量形成结果一致。该研究结论与菠菜上施用微生物菌剂和高峰在烟草上使用微生物菌剂分别提高土壤微生物多样指数和碳源代谢水平结论一致<sup>[7,11]</sup>。说明微生物菌剂配施氮肥能够促进土壤微生物对这三类碳源化合物的代谢活性即微生物功能多样性,这与微生物菌剂配合氮肥使用提高了花椰菜根系生长,增加了根系分泌物的形成,从而为微生物群落的生长和繁殖提供了环境有关。 T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 三个处理之间差异不明显,即氮肥减量 1/3 或 1/4 配施微生物菌剂处理与氮肥常量配施微生物菌剂处理在促进土壤微生物群落对碳水

化合物、聚合物类和氨基酸类碳源的代谢水平上效应相同。可见,无论从节约能源、节本增效角度,还是农业可持续发展角度都应提倡使用微生物菌剂部分替代氮肥使用。

农田土壤环境中微生物数量及其多样性不仅受施肥的影响,还受灌溉、土壤温度、土壤有机质、作物种类及其取样时间等因素的影响,鉴于此,以后可以选择多个作物种类并设长期定位微生物菌剂配施氮肥处理稳定施肥条件下土壤微生物数量及多样性的影响研究。

## 4 结论

(1) 各施肥处理对花椰菜产量及干物质量都有一定的促进作用。 $T_5$  和  $T_6$  处理对增加花椰菜产量、生物量、经济效益的效果接近,花椰菜产量分别增加了 12.35% 和 10.75%,地下干生物量增加了 57% 左右。 $T_2$  和  $T_4$  处理增加花椰菜产量 5% 左右。氮肥减量 1/4 配施微生物菌剂与化肥常量配施微生物菌剂对促进花椰菜产量和生物量方面有同等功效,另外氮肥减量 1/3 配施微生物菌剂处理与氮肥常量处理对花椰菜产量增产的效果一致,微生物菌剂可以部分替代氮肥实现氮肥节本增效和花椰菜可持续生产的作用。

(2)  $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  处理土壤细菌、放线菌和微生物总数数量分别增加了 57.6%~321.54%,66.81%~83.62% 和 135.40%~232.07%,而土壤真菌数量降低 34.08%~41.80%。与对照相比各施肥处理增加了土壤细菌占微生物总数的比例,降低了真菌和放线菌的比例, $T_5$  和  $T_4$  处理效果最显著。

(3)  $T_4$ ,  $T_5$  和  $T_6$  处理显著增加了土壤微生物群落对碳水化合物、羧酸类、聚合物类和氨基酸类碳源的代谢水平。 $T_3$  处理显著增加了土壤微生物群落对羧酸类和聚合物类碳源的代谢水平。单施微生物菌剂处理和微生物菌剂配施氮肥处理在改善土壤微生物群落碳源代谢活性上效果显著。

### 参考文献:

- [1] 张丽荣,陈杭,康萍芝,等.不同微生物菌剂对番茄产量及土壤微生物数量的影响[J].湖北农业科学,2013,52(22):5453-5456.
- [2] 洪坚平,谢英荷,Neumann Guenter,等.两种微生物菌

剂对小麦幼苗生长和磷吸收机理的影响研究[J].中国生态农业学报,2008,18(1):105-108.

- [3] 杨玉新,王纯立,谢志刚,等.微生物肥对土壤微生物种群数量的影响[J].新疆农业科学,2008,45(1):169-171.
- [4] 王涛,李剑,覃娟.几种微生物菌剂处理下连作黄瓜的生长分析[J].北方园艺,2010(18):15-19.
- [5] 马锋敏,杨利民,肖春萍.施用微生物菌剂对参后地土壤微生物功能多样性的影响[J].吉林农业大学学报,2015,37(3):317-322.
- [5] 朱英,孙权,司海丽,等.微生物菌剂对设施番茄幼苗生长的影响[J].北方园艺,2013(19):55-58.
- [6] 千淋兆,龚明波,顾金刚,等.溶磷微生物菌剂对土壤营养元素及玉米生长的影响[J].农业资源与环境学报,2014,31(5):425-431.
- [7] 高峰,尤垂淮,刘朝科,等.丁博锐,张重义.施用微生物菌剂对烤烟经济性状及其根际微生态变化的影响[J].福建农业学报,2014,29(12):1230-1235.
- [9] 弓新国,胡晓峰,陈俊秋,等.不同时期施用微生物菌剂对烤烟生长和产量质量的影响[J].中国土壤与肥料,2014(6):106-110.
- [10] 贺冰,赵月平,邵秀丽,等.微生物菌剂与化学肥料配施对番茄幼苗生长的影响[J].河南农业大学学报 2010,44(5):528-531.
- [11] 雷先德,李金文,徐秀玲,等.微生物菌剂对菠菜生长特性及土壤微生物多样性的影响[J].中国生态农业学报.2012,20(4):488-494.
- [12] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等.宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J].水土保持学报,2011,25(5):107-111.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [14] 李凤霞,杨涓,许兴,等.脱硫废弃物施用对盆栽油菜碱化土壤微生物多样性的影响[J].土壤,2011,43(2):270-276.
- [15] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等.宁夏引黄不同盐化程度土壤酶活性及微生物多样性研究[J].水土保持研究,2013,20(1):61-65.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1983.
- [17] 田长平,高安妮,张福兴,孙庆.微生物菌剂对设施甜樱桃产量和品质的影响[J].烟台果树,2015,129(1):12-13.
- [18] 谭兆赞,林捷,刘可星,廖宗文.复合微生物菌剂对番茄青枯病和土壤微生物多样性的影响. [J]. 华南农业大学学报,2007,28(1):45-49.