广东农业科学 2018，45（8）：86–92
Guangdong Agricultural Sciences doi：10.16768/j.issn.1004–874X.2018.08.013

陈敏洁，满梅莲，宋雁飞，等 . *Bacillus pumilus* 菌剂与化肥配施对油麦菜生长和品质的影响［J］. 广东农业科学，2018，45（8）：86–92.

Bacillus pumilus 菌剂与化肥配施对油麦菜生长和品质的影响

陈敏洁[1]，满梅莲[1]，宋雁飞[1]，戚兴来[1]，王　晓[1]，
孙　堆[1]，牛　磊[1]，郑春丽[1,2]
（1. 内蒙古科技大学生命科学与技术学院，内蒙古　包头　014010；
2. 内蒙古科技大学能源与环境学院 /
白云鄂博矿多金属资源综合利用省部共建国家重点实验室，内蒙古　包头　014010）

摘　要：*Bacillus pumilus* 菌株隶属芽孢杆菌属，其有利于促进植物的生长和营养吸收。为探讨该菌株对植物生长及营养品质的应用价值，将该菌株与化肥进行不同配施处理，进行油麦菜盆栽试验。结果表明，*B. pumilus* 菌剂与化肥配施对油麦菜有促生作用且提高，其品质，氮磷肥与菌剂配施使油麦菜株高、鲜重和干物质量比对照分别高 26.54%、353.95% 和 303.83%，根长、根鲜重、根干物质量分别高 210.18%、163.89% 和 328.30%；化肥与菌剂配施对油麦菜的促生效果较单施菌剂亦有显著增加，菌剂与化肥配施处理后维生素 C 和总糖含量比对照分别高 100.00% 和 283.50%，同时对油麦菜中的钾、镁、钠含量有一定的影响。另外，*B. pumilus* 菌株具有解有机磷及无机磷的能力，这可能是其促进植株生长的作用机制。可见，*B. pumilus* 菌剂与化肥配施后的促生效果较好，可促进油麦菜的生长及其品质的提高。

关键词：*Bacillus pumilus* 菌株；油麦菜；化肥配施；生理指标；食用品质
中图分类号：S154.3；S636.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004–874X（2018）08–0086–07

Effects based on *Bacillus pumilus* combined application with chemical fertilizers on the growing and quality of lettuce

CHEN Min–jie[1], MAN Mei–lian[1], SONG Yan–fei[1], QI Xing–lai[1],
WANG Xiao[1], SUN Dui[1], NIU Lei[1], ZHENG Chun–li[1,2]
（1. *School of Life Science and Technology, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *China;*
2. *School of Energy and Environment / Key Laboratory of Integrated Exploitation of Bayan Obo Multi–Metal Resources, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *China*）

Abstract：The *Bacillus pumilus* strain belongs to the genus *Bacillus*, which is advantageous for the promotion of plant growth and nutrient absorption. The strain was treated with chemical fertilizer under different combinations to explore the application value to plant growth and nutrient quality. The results showed that *B. pumilus* inoculation with chemical fertilizers could impact the growth of lettuce and improved its quality. The plant height, fresh weight, and dry matter quality of lettuce were increased by 26.54%, 353.95% and 303.83% respectively, compared with the

收稿日期：2028–04–01
基金项目：国家自然科学基金（41561094）；内蒙古青年科技英才支持计划项目（NJYT 14–B12）；内蒙古应用技术研发项目（201501083）；内蒙古自然科学基金（2017MS0401）
作者简介：陈敏洁（1985–），女，在读博士生，讲师，E–mail：chenminjie0601@163.com
通讯作者：郑春丽（1979–），女，博士，教授，E–mail：zhengchunli1979@ 163.com

blank control group. The root length, root weight and root dry matter of lettuce were increased by 210.18%, 163.89% and 328.30% respectively. The plant growth of the combined application of *B. pumilus* and phosphate fertilizers also increased compared with the single agent. The content of vitamin C, total sugar with combined application of *B. pumilus* and chemical fertilizers increased 100.00% and 283.50% compared with the blank control group. In addition, *B. pumilus* had phosphate-releasing abilities, which may be the mechanism to promote plant growth. In summary, *B. pumilus* and chemical fertilizers could have good growth-promoting effects after application and obtained higher quality of lettuces.

Key words: *Bacillus pumilus*; lettuce; formula application of fertilizer; physiological indexes; edible quality

近年来,随着农业可持续发展战略的实施,单施化肥给生态环境造成了危害,农作物品质也受到影响。因此保证无公害绿色食品安全无污染生产,成为社会的焦点[1]。多年大量施用化学肥料,不仅造成化肥的利用率低,还造成了土壤板结、肥力下降从而导致微生态失衡,使土地生产能力下降[2],甚至对水体和空气造成污染[3],蔬菜的可食用安全性降低。刘伟等[4]研究表明,增施氮素使菠菜中硝酸盐含量上升,硝酸盐在人体内会转变成亚硝酸盐,影响人们的身体健康。微生物肥料是利用活性微生物的生命活动使植物得到养分的一种新型肥料生物制品,由于具有增加土壤多样性、改善农产品品质的特性,其研究和开发得到了高度重视[5-9]。微生物菌肥无害无毒、肥效显著且工艺简单,但单施微生物菌剂有一定缺陷,而微生物菌剂与化肥配施处理,对油麦菜促生效果显著,单株生产力提高明显[10-11]。微生物菌剂与化肥配施,使植物对营养元素的吸收能力增强,且植物中维生素 C 和可溶性糖含量也显著提高[12-13]。赵庆雷等[14]通过长期定位试验发现,微生物菌剂配施下,土壤磷元素的累积解吸率比只施化肥大幅度提高,提高达 72.2 %。

由于包头地处河套平原,土壤偏碱性,因此我们采用包头本地尾矿库筛选的 *Bacillus pumilus* 菌株进行配施试验。*B. pumilus* 隶属于芽孢杆菌属,对动、植物无致病性[15-17],其大量存在于土壤和植物根系中,能促进植物生长、增加作物抗逆性[18-19]。由于尾矿库环境恶劣,在该区域筛选的菌生命力顽强,能较好地适应包头本地的盐碱化土壤[20],对于促进包头化肥合理施用具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自包头麻池镇农用地,其含水率为 4%,pH 值 7.71,有机质含量为 3.72%,速效磷 1.36 mg/kg,速效钾 166.36 mg/kg,速效氮 29.53 mg/kg,蔗糖酶酶活 26.74 mg/g·d;供试作物为油麦菜苗,由包头市万开生物有限责任公司提供;供试菌种 *Bacillus pumilus* 由本白云鄂博矿多金属资源综合利用省部共建国家重点实验室从包钢集团尾矿库土壤中筛选保存;供试化肥原料为过磷酸钙、尿素、硫酸钾。

1.2 试验方法

试验选用直径 12 cm 的盆钵,加入土与蛭石重量比为 2∶1,土样室温烘干,过 0.178 mm 筛,混匀,每盆栽种 4 棵油麦菜苗,菌剂按 100 mL/ 盆(菌数量≈ 1×10^{10} 个)喷洒到盆内,对照加入 100 mL/ 盆去离子水,倒入 300 mL 蒸馏水溶解的肥料,进行 *Bacillus pumilus* 菌剂与化肥配施处理。试验设 8 个处理(表 1),每个处理 3 次重复,每个重复 2 盆。每隔 2 d 浇水 1 次,每次 300 mL,30℃,24 h 光照,种植 29 d。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 *油麦菜株高、鲜重、干物质含量测定* 油麦菜苗盆栽定植后 29 d 取样,株高用直尺测定,鲜重用天平测定。干物质测定:取称量皿,开盖放入烘箱,115℃烘 30 min,取出,在干燥器中冷却至室温后称重,继续烘干至“恒重”;将粉碎、混匀的油麦菜和根平铺称量皿中,尽快称量后置于已预热至 115℃的烘箱中,烘干 3 h,取出,盖上称量盖,移入干燥器中冷却后称重。

1.3.2 *油麦菜食用品质及微量元素测定* 油麦菜中维生素 C 含量测定采用 2,6 – 二氯靛酚滴定法[21],蛋白质含量测定采用凯式定氮法[22],

表 1　*Bacillus pumilus* 菌剂与化肥配施方案

处理	尿素（0.226 g）	过磷酸钙（0.180 g）	硫酸钾（0.158 g）	菌剂（100 mL）	处理	尿素（0.226 g）	过磷酸钙（0.180 g）	硫酸钾（0.158 g）	菌剂（100 mL）
N	+	−	−	−	N+	+	−	−	+
P	−	+	−	−	P+	−	+	−	+
K	−	−	+	−	K+	−	−	+	+
NP	+	+	−	−	NP+	+	+	−	+
NK	+	−	+	−	NK+	+	−	+	+
PK	−	+	+	−	PK+	−	+	+	+
NPK	+	+	+	−	NPK+	+	+	+	+
CK	−	−	−	−	CK+	−	−	−	+

注：+ 表示施加，—表示不施加。

总糖含量测定采用苯酚 – 硫酸法[23]，微量元素含量的测定采用原子吸收分光光度法[24]。

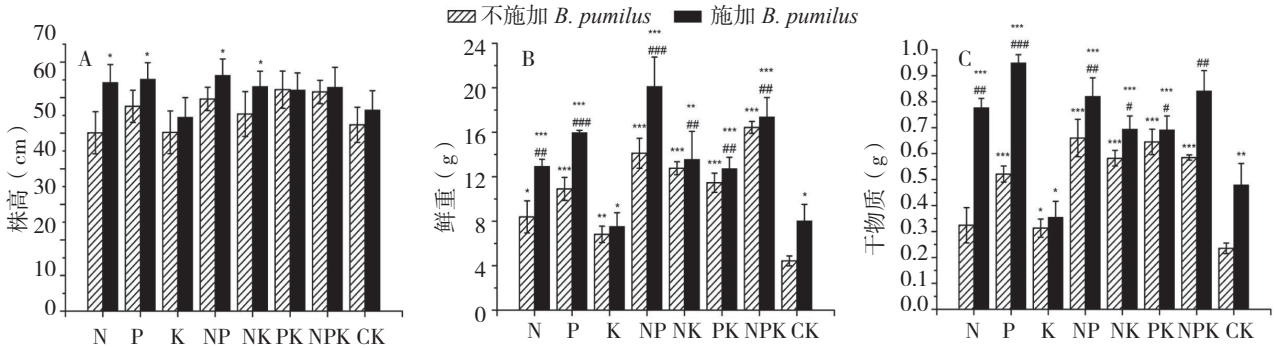
1.3.3　*Bacillus pumilus*菌株解磷功能的验证　将*Bacillus pumilus*菌株分别接种于无机磷培养基（$C_6H_{12}O_6$：10 g/L；（NH4）$2SO_4$：0. 5g/L；$MgSO_4 \cdot 7H_2O$：0. 3 g/L；NaCl：0. 3 g/L；KCl：0. 3 g/L；$FeSO_4 \cdot 7H_2O$：0. 03 g/L；$MnSO_4 \cdot 4H_2O$：0. 03 g/L；Ca（PO4）2：10 g/L；琼脂粉：20 g/L[25]）和有机磷培养基（C6H12O6：10 g/L；（NH4）$2SO_4$：0. 5 g/L；NaCl：0. 3 g/L；$MgSO_4 \cdot 7H_2O$：0. 3 g/L；Ca（PO_4）$_2$：10 g/L；$MnSO_4 \cdot 4H_2O$：0. 03 g/L；$FeSO_4$：0. 03 g/L；卵磷脂：0. 2 g/L；琼脂粉：20 g/L[26]）中，30℃培养 3~5 d，观察透明圈的生成。

2　结果与分析

2.1　油麦菜生理指标测定

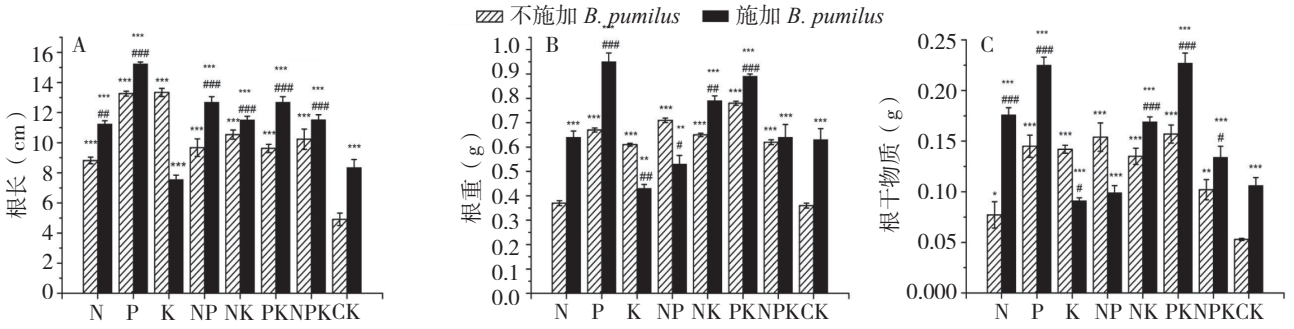
对化肥处理、化肥与菌剂配施处理油麦菜地上部分即株高、鲜重、干物质和地下部分即根长、根重、根干物质进行测量，结果见图 1 和图 2。由图 1 可知，在 *B. pumilus* 菌剂与化肥配施的情况下，油麦菜的株高、鲜重以及干物质量有不同程度的增加。与不添加化肥和菌剂的对照相比，氮磷肥与菌剂配施处理的油麦菜株高和鲜重分别增加 26. 54% 和 353. 95%，磷肥与菌剂的配施使干物质量增加 303. 83%；磷肥与微生物菌肥配施的增产效果好于与氮肥和钾肥配施。与单施微生物菌肥对照相比，菌剂与磷肥配施处理的油麦菜株高、鲜重和干物质含量分别增加 15. 23%、98. 7% 和 98. 12%。由此可见，*B. pumilus* 菌剂与化肥配施，能很好地促进油麦菜根上部分的生长，尤其是对鲜重和干物质的增加效果显著，这可能是 *B. pumi*lus 菌剂能与油麦菜发生相互作用，促进了营养物质的吸收和转化。

由图 2 可知，在 *B. pumilus* 菌剂与化肥配



A：株高，B：鲜重，C：干物质；*、**、*** 分别表示不添加 *B.pumilus* 菌剂施肥处理及对照间差异达到 0.005、0.01、0.001 显著水平，#、##、### 分别表示添加 *B.pumil*us 菌剂施肥处理及对照间差异达到 0.05、0.01、0.001 显著水平，图 2~ 图 4 同

图 1　化肥及菌剂配施处理油麦菜地上部分生长指标测定结果



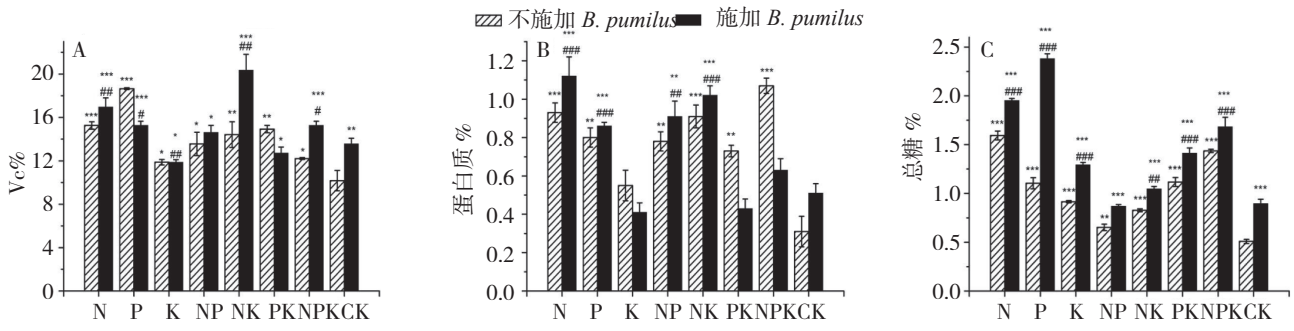
A：根长，B：根重，C：根干物质

图 2　化肥及菌剂配施处理油麦菜地下部分生长指标测定结果

施的情况下，与不添加化肥和菌剂的对照相比，油麦菜的根长、根鲜重、根的干物质量分别增加 210. 18%、163. 89% 和 328. 30%。菌剂与氮肥、磷肥配施处理，油麦菜根长比单施用菌剂对照分别增加 34. 77% 和 82. 61%，而钾肥与菌剂配施在一定程度上抑制了根的生长；菌剂与磷肥配施，根鲜重比单施菌剂增加 50. 79%；*B. pumilus* 菌剂与氮肥、磷肥、氮磷钾肥配施，根的干物质量分别比单施氮肥、磷肥、氮磷钾肥增加 128. 3%、55. 17% 及 31. 4%，比单施用菌剂分别增加 66. 0%、112. 3% 及 26. 4%。由此可见，*B. pumilus* 菌剂与化肥配施的效果好于单施化肥，其中与磷肥配施的效果最好。其原因可能是 *B. pumilus* 菌株的胞外分泌物对植物起到类似于吲哚 –3– 乙酸（IAA）、赤霉素和细胞分裂素等促进植物生长的作用[27]。

2. 2　油麦菜营养品质测定

油麦菜中的维生素 C 可帮助人体内铁的吸收，预防坏血病[28]，而蛋白质是构成和修复人的神经、肌肉、内脏、血液、骨骼等组织细胞的材料。另外糖类物质则对人体的细胞和组织具有一定的保护作用[29]。*B. pumilus* 菌剂与化学的配施对油麦菜中 V_C、总蛋白和总糖含量的影响见图 3。*B. pumilus* 菌剂与化肥配施处理下，油麦菜的 V_C、蛋白质及总糖含量均有一定程度的提高。由图 3A 可知，*B. pumilus* 菌剂的添加，总体使油麦菜 V_C 含量增加，其中菌剂与氮钾肥的配施使得 V_C 含量增加 100%，比单施菌剂增加 50%；由图 3B 可知，不同化肥处理下，油麦菜的蛋白质含量差异较大，氮肥的施用可以增加总蛋白含量，较磷肥、钾肥和空白对照分别高 29. 7%、171. 4% 和 119. 4%，而配施菌剂，对于蛋白质的含量变化有较大的影响，其中菌剂与氮磷钾肥共施可使油麦菜总蛋白含量增加 64. 8%；由图 3C 可知，氮肥的施加不仅可以增加油麦菜中蛋白质的含量，还对总糖的增加有明显的效果，较不施用任何肥料的对照增加 283. 50%，而菌剂的施加总体使油麦菜总糖含量明显增加。单施磷肥较不施肥，油麦菜总糖含量增加 117. 1%，而菌剂与磷肥配施使油麦菜中总糖含量增加 115. 5%。由此可见，菌剂的配施对于油麦菜营养品质的提升有明显的效



A：V_C，B：蛋白质，C：总糖

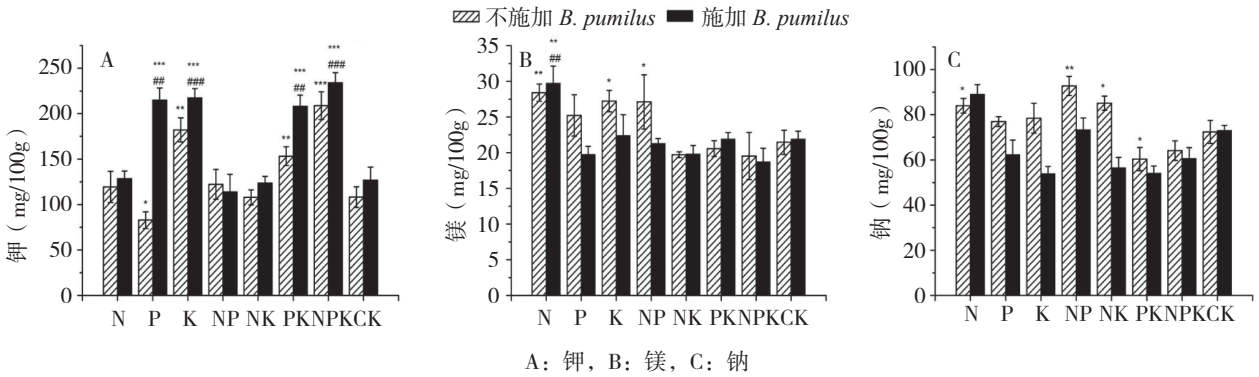
图 3　化肥及菌剂配施处理油麦菜营养成分测定结果

果。这可能是由于菌剂与化肥配施处理后改良了土壤环境，从而有利于油麦菜中营养物质的积累[30]。

2.3 油麦菜微量元素测定

钾、镁、钠是植物所需的微量元素，其中钾元素能促进植物生长，提高作物的抗病性；镁元素是叶绿素的重要组成成分之一，在植物合成叶绿素过程中是必不可少的；钠元素可以提高细胞原生质的亲水性，提高了细胞的保水潜力，在一定程度上可以降低植物的蒸腾作用。因此， 钾、镁、钠元素的含量在一定程度上能够体现植株的生长能力及健康性。

从图 4A 可以看出，*B. pumilus* 菌剂的添加能够总体提高油麦菜中钾的含量，其中与氮磷钾肥配施处理使钾含量达到最高，比空白对照高 116. 2%；而菌剂与磷肥配施，油麦菜钾含量比单施磷肥高 159. 4%。由此可见，钾肥可以明显提高植物体内钾元素的含量，在钾肥的基础上施加氮肥和磷肥，钾元素的含量有升高的趋势。由图 4B 可知，只有 *B. pumilus* 菌剂与氮肥的配施能提高油麦菜的镁含量，比对照增加 35. 73%，菌剂的添加及化肥的添加对镁元素含量影响不大。对镁元素含量略有影响的是氮肥、钾肥，分别比空白组增加了 32. 38%、26. 89%。从图 4C 可以看出，*B. pumilus* 菌剂的施用对油麦菜体内钠元素的积累有一定负作用，而单施化肥的配施处理增加了钠元素含量，氮肥与磷肥的配施下钠元素的含量比空白试验增加 28. 11%。由此可见，*B. pumilus* 菌剂对油麦菜中微量元素的含量会产生影响，但变化趋势不显著，当菌剂与钾肥和氮磷钾肥配施时，油麦菜中钾元素的含量较高，油麦菜中镁元素受菌剂的影响较小，但钠元素总的趋势是呈下降状态，其原因至今尚不明确，还需要进一步探索。



A：钾，B：镁，C：钠

图 4 化肥及菌剂配施处理的油麦菜微量元素含量

2.4 *Bacillus pumilus* 解磷功能的验证

B. pumilus 菌剂不仅对油麦菜有一定的促生作用，通过解磷实验，验证其是否具有解无机磷和有机磷的作用，达到促生效果，其解磷效果见图 5。图 5A 的溶磷圈为 *B. pumilus* 菌株利用低溶解性的磷酸盐为唯一磷源生长产生的，表明该菌株具有溶解无机磷的能力；图 5B 为 *B. pumilus* 菌株在卵磷脂培养基生长所产生的溶磷圈，说明该菌株具解有机磷的能力，由此推测 *B. pumilus* 菌株可能通过自身的生理功能向外分泌并释放出酸性分泌物，这类酸性物质的扩散，使得难溶性的磷在酸性分泌物的作用下溶解，形成溶磷圈。也有报道证明，出现溶磷圈可能是一些其他的分泌物，如螯合性或络合物等造成[31-32]。经 *B. pumilus* 菌株处理后油麦菜中的各项生理指标和品质指标与对照相比都有提高，说明 *B. pumilus* 菌株可能对植物的营养生理代谢产生影响，促进植株生长以及植物对氮、磷等营养元素的吸收[33-34]。



A：解无机磷　　B：解有机磷

图 5 *B. pumilus* 菌剂解磷实验结果

3 结论

芽胞杆菌属是一类应用较广泛的植物根际促生细菌，具有促进植物生长和诱导植物抗病性的作用[35]。研究表明，*B. pumilus* 对拟南芥、烟草、大豆和辣椒等植物的生长具有明显的促进作用[36]。本研究通过包头本地尾矿库筛选的*B. pumilus* 菌株进行配施研究，得到以下结论：*Bacillus pumilus* 菌剂对油麦菜根的生长及幼苗的株高和株重具有促进作用，单施菌剂对油麦菜增产效果较与化肥的配施处理的效果显著差，菌剂与磷的配施处理能够明显提高油麦菜盆产量；*Bacillus pumilus* 菌剂对于改善油麦菜的品质也有一定的功能，维生素 C 和植物总糖的含量都在不同的程度范围内有一定的改善和提高，蛋白质的含量受微生物菌剂的影响较小，与施用氮肥等不同的配施处理有关，氮肥与菌剂的配施能够提高油麦菜对氮素的吸收和利用；菌剂对油麦菜中微量元素也产生一定的影响，但变化趋势不显著，当菌剂与钾肥和氮磷钾肥配施时，油麦菜中钾元素的含量较高，油麦菜中镁元素受菌剂的影响较小，但是与前两种元素变化趋势不一样的是钠元素，它的总的趋势是呈下降状态，其原因尚不明确，还需要进一步探索。*B. pumilus* 菌株具有一定分解无机磷和有机磷的能力，有助于将土壤中不可利用的磷元素转化为可被油麦菜吸收的磷肥，从而加快油麦菜的长势。

参考文献：

[1] 麻瑞阳, 张爱民, 惠小双, 等. 高效解磷解钾菌 NX-11 菌株的分离筛选、鉴定及最佳培养条件的确定[J]. 华北农业学报, 2013, 28(2): 202–208.

[2] 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.

[3] 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, 23(2): 140–146.

[4] 刘伟, 徐坤, 王惠林, 等. 氮素用量对菠菜生长及产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2007(1): 21–23.

[5] 林启美, 王华, 赵小蓉, 等. 一些细菌和真菌的解磷能力及机理初探[J]. 微生物学报, 2011, 28(2): 26–29.

[6] 马春浩. 解磷微生物及其应用研究综述[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(4): 34–36.

[7] 左应梅, 金航, 杨绍兵, 等. 几种微生物菌剂对三七生长发育及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(24): 59–65.

[8] 古述江, 房娜娜, 章淑艳, 等. 磷细菌剂与化肥配施对小豆生育性状及产品品质的影响[J]. 河北省科学院学报, 2016, 33(1): 62–67, 73.

[9] Luisa P U, Magally R T, Valeska V E. Effect of medium components and culture conditions in Bacillus subtilis EA-CB0575 spore production [J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2015, 38(10): 1879–1888.

[10] 邓力超, 薛灿辉, 范连益. 氮磷钾化肥与有机肥不同配比对油菜生长及产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(5): 31–34.

[11] 贾娟, 李硕, 高夕彤, 等. 氨基酸水溶肥与菌剂配施对松花菜生长及土壤生态特征的作用效果[J]. 河北农业大学学报, 2018(1): 17–23.

[12] 李杰, 贾豪语, 颉建明, 等. 生物肥部分替代化肥对花椰菜产量、品质、光合特性及肥料利用率的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(1): 47–55.

[13] 曹丹, 宗良纲, 肖峻, 等. 生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2587–2592.

[14] 赵庆雷, 吴修, 袁守江, 等. 长期不同施肥模式下稻田土壤磷吸附与解吸的动态研究[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 113–122.

[15] 王刘庆, 王秋影, 廖美德. 多粘类芽孢杆菌生物特性及其机理研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(11): 158–163.

[16] 覃建忠, 邓正春, 周诗彪, 等. 大豆施用含地衣芽孢杆菌生物活化酶磷肥试验[J]. 作物研究, 2017(S1): 722–723.

[17] 刘会. 不同基质和粒径微生物菌肥对苹果生

长发育和氮素利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.

[18] 苍桂璐, 张付云, 杨阳, 等 . 多粘类芽孢杆菌的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(2): 487–489.

[19] 陈保宇 . 海藻精与微生物菌剂对水稻生长和产量的影响及应用前景分析[D]. 南宁: 广西大学, 2017.

[20] 吴晓卫 . 微生物菌肥改良渭北地区盐碱化土壤作用及效果研究[D]. 西安: 西北大学, 2015.

[21] 陈光, 孙妍 . 2, 6–二氯靛酚滴定法测定蜂胶中维生素 C[J]. 理化检验(化学分册), 2014, 50(8): 1041–1042.

[22] 杨晨阳, 任志秋 . 微波消解——凯式定氮法在大豆蛋白质含量测定中的应用[J]. 粮食, 2011, 40(3): 50–52.

[23] 孙芸, 刘杰, 刘佳佳, 等 . 苯酚 – 硫酸法测定菊苣根中总糖的含量[J]. 中国民族民间医药, 2008(4): 12–13.

[24] 李翠莉 . 火焰原子吸收分光光度法测定普洱茶中金属元素的含量[J]. 安徽农业学, 2010, 38(18): 9771–9772.

[25] 潘虹 . 石灰性土壤解磷细菌分子鉴定与解磷能力及机理初探[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.

[26] 麻瑞阳 . 高效解磷解钾菌株 NX–11 的分离筛选鉴定及作用效果分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.

[27] 达萨如拉 . 虎榛子根系分泌物及根际微生物分泌物对油松幼苗化感效益研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.

[28] 邓怡萌 . 浅谈维生素 C 的生理功能和膳食保障[J]. 科技展望, 2015, 25(30): 122.

[29] 王克夷 . 糖类的结构、代谢和功能以及与药物的关系[J]. 生理科学进展, 1983(2): 135–140.

[30] 王海娟 . 菌剂与肥料配施对露天矿排土场土壤养分含量及紫花苜蓿生长的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.

[31] 宝德俊, 朱洪勋, 皇甫湘荣, 等 . 小麦喷施惠满丰肥效试验[J]. 河南农业科学, 1996(10): 17–18.

[32] 滕泽栋, 李敏, 朱静, 等 . 解磷微生物对土壤磷资源利用影响的研究进展[J]. 土壤通报, 2017, 48(1): 229–235.

[33] 高绘菊, 付信芝, 董法宝, 等 . 桑树内生拮抗细菌枯草芽孢杆菌 L144 对植物生长及营养代谢的影响[J]. 蚕业科学, 2010, 36(2): 214–220.

[34] 陈益, 王正银, 唐静, 等 . 磷肥用量对石灰性紫色土壤油麦菜产量、品质和养分形态的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(10): 183–193.

[35] 马欣 . 枯草芽孢杆菌 OKB105 菌株突变体文库的构建及促生相关基因的克隆和功能研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.

[36] 王静, 孔凡玉, 张成省 . 一株短小芽孢杆菌及其在防病促生中的应用[P]. 中国专利: 201110146683. 8, 2011–06–01.

(责任编辑　邹移光)