

闫锋,董扬,赵富阳,等.微生物菌剂对谷子生长及土壤酶活性的影响[J].黑龙江农业科学,2024(5):27-31.

# 微生物菌剂对谷子生长及土壤酶活性的影响

闫 锋,董 扬,赵富阳,侯晓敏,李清泉,曾玲玲,卢 环,王冰雪

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为验证微生物菌剂在谷子生产上的应用效果,并筛选出最优菌剂,采用田间试验,以谷子品种嫩选 21 为参试材料,设置苗期灌施 5 种微生物菌剂(枯草芽孢杆菌、哈茨木霉菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌和复合微生物菌剂)和不施菌剂(CK)共 6 个处理,分析不同处理下谷子农艺性状、产量性状、光合特性及土壤养分含量、酶活性等指标。结果表明,与 CK 相比,施入微生物菌剂后,土壤中全氮、有效磷、速效钾含量显著提高,脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶活性显著增强;5 种微生物菌剂均能显著改善嫩选 21 的农艺性状(穗长、穗粗、株高、茎粗)、产量性状(穗重、穗粒重)及光合特性(净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度),但对千粒重影响不显著;供试菌剂处理中复合微生物菌剂处理能够改善土壤肥力状况、提高酶活性,增加谷子产量,比 CK 增产 16.86%,净收益增加 24.21%。因此,复合微生物菌剂在玉米上有较好的应用效果,可应用于黑龙江省谷子大田高产栽培。

**关键词:**微生物菌剂;谷子;酶活性;生长

谷子是人类驯化最早的作物之一,这种起源于中国的小颗粒谷物,最早的考古证据可以追溯到 1 万多年前,在漫长的历史中,一直都是中国的主要粮食作物,是北方黍粟文化的代表性作物<sup>[1]</sup>。谷子具有耐瘠薄、耐盐碱、抗旱的特点,是一种可以抵御恶劣生态环境的战略储备作物,在我国种植业结构调整中发挥着主要作用<sup>[2-3]</sup>。近年来,过量施肥、偏施氮肥等不合理施肥措施,虽然一方面使作物产量得以提高,但另一方面又造成农产品品质下降,土壤微生物平衡遭到破坏,土壤有机质含量下降,肥料利用率降低,而且还会造成农田土壤严重污染<sup>[4]</sup>。

微生物菌剂是指目标微生物(有效菌)经过工业化生产扩繁后,利用多孔物质作为吸附剂(如草炭、蛭石),吸附菌体的发酵液加工制成的活菌制剂,包含有益活菌及天然发酵活性物使其功能得以实现<sup>[5]</sup>。微生物菌剂在不改变土壤结构的前提下,一方面能够显著改良土壤肥力,丰富优化土壤中微生物群落结构,另一方面可以提高农产品品质和产量<sup>[6]</sup>,在化肥减施增效技术中发挥重要作用<sup>[7]</sup>。微生物菌剂对植物无害,且肥效更加持久,施用成本也低于化肥,目前,微生物菌剂已经在玉米<sup>[8]</sup>、水稻<sup>[9]</sup>、青椒<sup>[10]</sup>、花生<sup>[11]</sup>、茄子<sup>[12]</sup>、高粱<sup>[13]</sup>

等作物栽培中得到应用。但是,不同微生物菌剂在不同作物间产生的效果存在差异,且目前关于微生物菌剂在谷子上的施用效果报道较少。因此,本研究以谷子品种嫩选 21 为试材,在苗期采用灌根的方式施用 5 种微生物菌剂,研究不同微生物菌剂对谷子农艺性状、光合指标、产量构成指标以及根际土壤酶活性等产生的影响,旨在为微生物菌剂在谷子生产中的应用提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

参试谷子品种为嫩选 21,由黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院选育,春谷中熟品种。参试微生物菌剂为地衣芽孢杆菌(粉剂,内含活菌 $\geq 1\ 000$ 亿 $\cdot g^{-1}$ ,购自北海亦强生物科技有限公司),哈茨木霉菌(粉剂,内含活菌 $\geq 10$ 亿 $\cdot g^{-1}$ ,购自湖北启明生物科技有限公司),枯草芽孢杆菌(粉剂,内含活菌 $\geq 20$ 亿 $\cdot g^{-1}$ ,购自山东金达康农业科技有限公司),解淀粉芽孢杆菌(粉剂,内含活菌 $\geq 1\ 000$ 亿 $\cdot g^{-1}$ ,购自北海亦强生物科技有限公司),复合微生物菌剂(粉剂,内含活菌 $\geq 1\ 000$ 亿 $\cdot g^{-1}$ ,购自北海强兴生物科技有限公司)。

收稿日期:2023-12-27

基金项目:国家谷子高粱产业技术体系建设项目(CARS-06-14.5-B21)。

第一作者:闫锋(1982-),男,硕士,副研究员,从事杂粮作物遗传育种及栽培研究。E-mail:yanfeng6338817@126.com。

通信作者:李清泉(1968-),男,学士,研究员,从事杂粮作物遗传育种及栽培研究。E-mail:zls1968@163.com。

## 1.2 方法

1.2.1 试验设计 2022年4月25日试验地起垄,结合起垄施入 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的磷酸二铵作为基肥。5月10日播种,播前灌水1次保证播种后出全苗,6月15日定苗,定苗密度为 $40\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。7月2日人工灌水1次,7月20日最后一次中耕封垄,封垄时施入 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的尿素作为追肥。每个处理小区设10行区,垄宽 $0.65\text{ m}$ ,行长 $4.00\text{ m}$ ,小区面积约 $26\text{ m}^2$ ,3次重复。试验采用随机区组设计,以喷施清水为对照(CK),设5个微生物菌剂处理,在谷子苗期(6~7叶)灌根处理,具体处理方案为T1:枯草芽孢杆菌(灌根剂量为 $15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、T2:哈茨木霉菌(灌根剂量为 $10\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、T3:地衣芽孢杆菌(灌根剂量为 $2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、T4:解淀粉芽孢杆菌(灌根剂量为 $20\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、T5:复合微生物菌剂(灌根剂量为 $6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),各小区菌液灌根量均为 $20\text{ kg}$ 。

1.2.2 测定项目及方法 土壤养分测定:于灌浆期在每个处理内按“S”取样法进行5点取样,取 $30\text{ cm}$ 深土壤将5点土样混合,自然风干磨碎混匀后过 $1\text{ mm}$ 筛。按照关松萌<sup>[14]</sup>的方法测定土壤蔗糖酶、脲酶、中性磷酸酶活性,按照鲍士旦<sup>[15]</sup>的方法测定土壤全氮、有效磷、速效钾。

谷子叶片光合指标测定:抽穗期在每个处理内按“S”取样法进行5点取样,每个点取样4株,使用托普云农TP-3051D便携式光合仪测定顶部倒数第二片叶的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度。

谷子农艺性状及产量性状测定:于成熟期在每个小区随机选取谷子植株10株,测定穗长、穗粗、穗重、穗粒重、千粒重、株高、茎粗,并测 $1\text{ m}^2$ 谷子产量。每个小区以10株谷子平均值为统计数据。

1.2.3 数据分析 用Excel 2019软件进行数据统计,用DPS 7.05软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 微生物菌剂对土壤养分的影响

由表1可知,施用微生物菌剂后土壤各养分含量较CK均显著提高,不同菌剂处理下土壤肥力改良情况各不相同。T5处理土壤的全氮含量最高,达到 $1.66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,比CK增加了 $15.28\%$ ,显著高于其他4个处理和CK。T2处理下的土

壤有效磷含量最高( $13.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),显著高于其他处理,与CK相比增加了 $136.01\%$ 。T3处理土壤速效钾的含量为 $177.32\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,显著高于其他处理,与CK相比增加了 $49.97\%$ 。

表1 微生物菌剂对土壤养分的影响

单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

处理	全氮	有效磷	速效钾
CK	1.44 d	5.72 d	118.24 d
T1	1.50 c	6.75 c	137.03 c
T2	1.50 c	13.50 a	156.87 b
T3	1.53 c	7.32 c	177.32 a
T4	1.59 b	7.45 c	153.97 b
T5	1.66 a	10.21 b	157.68 b

注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

### 2.2 微生物菌剂对土壤酶活性的影响

由表2可知,微生物菌剂处理后土壤中蔗糖酶、脲酶和中性磷酸酶活性均有不同程度提高,但是不同处理下土壤酶活性各不相同。施入微生物菌剂后土壤中蔗糖酶活性均较CK显著提高,蔗糖酶活性在 $8.35\sim 10.86\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,其中T5和T4处理下蔗糖酶活性最高,分别为 $10.86$ 和 $10.40\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,显著高于其他处理;土壤脲酶活性为 $1.61\sim 2.72\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,除T1处理外,其余各处理的土壤脲酶活性均显著高于CK,T3处理的脲酶活性最高,为 $2.72\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,显著高于其他处理;中性磷酸酶活性在 $3.06\sim 5.40\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,各处理下土壤中中性磷酸酶均显著高于CK,其中T5处理的中性磷酸酶活性最高,为 $5.40\text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ ,显著高于其他处理。

表2 微生物菌剂对土壤酶活性的影响

单位: $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$

处理	蔗糖酶	脲酶	中性磷酸酶
CK	7.39 d	1.51 e	2.26 e
T1	8.35 c	1.61 e	3.06 d
T2	9.40 b	1.82 d	4.45 b
T3	9.34 b	2.72 a	3.72 c
T4	10.40 a	2.10 c	3.50 c
T5	10.86 a	2.32 b	5.40 a

### 2.3 微生物菌剂对谷子光合特性的影响

由表3可知,经过菌剂处理后嫩选21的蒸腾速率、净光合速率、胞间 $\text{CO}_2$ 浓度与CK对比均显

著提高。微生物菌剂处理后嫩选 21 的净光合速率为  $17.5 \sim 18.4 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ , 其中 T2 处理下净光合速率最高, 各处理下的净光合速率表现依次为  $T2 > T5 > T4 > T3 > T1 > CK$ ; 蒸腾速率为  $3.3 \sim 4.2 \text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ , 其中 T5 处理下蒸腾速率最高, 显著高于其他处理, 蒸腾速率表现依次为  $T5 > T2 > T3 > T1 > T4 > CK$ ; 胞间  $\text{CO}_2$  浓度在  $109.0 \sim 127.2 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ , 其中 T5 处理下胞间  $\text{CO}_2$  浓度最高, 显著高于其他处理, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度表现依次为  $T5 > T2 > T3 > T1 > T4 > CK$ 。

表 3 微生物菌剂对谷子光合指标的影响

处理	净光合速率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	蒸腾速率/ [ $\text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]
CK	15.7 c	3.0 d	91.8 d
T1	17.5 b	3.4 c	110.4 c
T2	18.4 a	3.8 b	116.5 b
T3	17.6 b	3.7 b	114.7 b
T4	17.8 b	3.3 c	109.0 c
T5	18.3 a	4.2 a	127.2 a

## 2.4 微生物菌剂对谷子农艺性状的影响

由表 4 可知, 经过菌剂处理后嫩选 21 的穗长、穗粗、茎粗、株高均较 CK 显著提高。微生物菌剂处理后嫩选 21 的穗长为  $25.4 \sim 27.1 \text{cm}$ , 其中 T5 处理下的穗长最大 ( $27.1 \text{cm}$ ), 各处理下穗长的表现依次为  $T5 > T3 > T4 > T2 > T1 > CK$ ; 穗粗为  $23.0 \sim 24.7 \text{mm}$ , 其中 T5 处理下的穗粗最大 ( $24.7 \text{mm}$ ), 显著高于 T1、T2 处理, 但与 T3、T4 处理差异不显著, 各处理下谷子穗粗的表现依次为  $T5 > T3 > T4 > T2 > T1 > CK$ ; 各菌剂处理之间的株高差异并不显著, 但均显著高于 CK, 嫩选 21 株高的变化幅度为  $143.4 \sim 145.9 \text{cm}$ ; 茎粗在  $8.5 \sim 9.5 \text{mm}$ , 其中 T5 处理下的茎粗 ( $9.5 \text{mm}$ ) 显著高于其他处理, 各菌剂处理下穗粗的表现依次为  $T5 > T3 > T2 > T1 > T4 > CK$ 。

表 4 微生物菌剂对谷子农艺性状的影响

处理	穗长/cm	穗粗/mm	株高/cm	茎粗/mm
CK	23.9 c	20.4 c	140.5 b	7.4 d
T1	25.4 b	23.0 b	145.2 a	8.7 c
T2	25.6 b	23.1 b	143.4 a	9.0 b
T3	26.7 a	24.6 a	143.8 a	9.1 b
T4	25.8 b	24.3 a	144.2 a	8.5 c
T5	27.1 a	24.7 a	145.9 a	9.5 a

## 2.5 微生物菌剂对谷子产量指标的影响

由表 5 可知, 与 CK 相比, 微生物菌剂处理后嫩选 21 的穗重、穗粒重和产量均得到显著提高, 但对千粒重影响不显著。与 CK 相比, 施入微生物菌剂后谷子穗重为  $25.3 \sim 27.9 \text{g}$ , 其中 T5 处理下的穗重最高 ( $27.9 \text{g}$ ), 显著高于其他处理, 各处理下谷子穗重表现依次为  $T5 > T3 > T4 > T2 > T1 > CK$ ; 穗粒重和产量的变化趋势与穗重完全一致, 穗粒重在  $20.8 \sim 22.6 \text{g}$ , 产量在  $541.9 \sim 602.4 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , T5 处理下的穗粒重和产量均最高, 分别为  $22.6 \text{g}$  和  $602.4 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 且显著高于其他处理。

表 5 微生物菌剂对谷子产量指标的影响

处理	穗重/g	穗粒重/g	千粒重/g	产量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )
CK	23.4 e	18.9 e	3.2 a	515.5 e
T1	25.3 d	20.8 d	3.1 a	541.9 d
T2	25.6 d	21.2 c	3.2 a	561.3 c
T3	27.2 b	22.0 b	3.1 a	587.1 b
T4	26.4 c	21.3 c	3.2 a	570.5 c
T5	27.9 a	22.6 a	3.2 a	602.4 a

## 2.6 微生物菌剂对谷子种植收益的影响

由表 6 可知, 由于微生物菌剂种类不同, 菌剂在生产中的投入成本也不同, 但微生物菌剂的投入均可增加谷子净收益, 以谷子市场收购价  $4 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$  计, 各微生物菌剂处理谷子籽粒总产值在  $1446 \sim 1607 \text{元} \cdot (667 \text{m}^2)^{-1}$ , 谷子净收益在  $916 \sim 1062 \text{元} \cdot (667 \text{m}^2)^{-1}$ ; 与 CK 相比, 微生物菌剂投入生产后谷子种植净收益的增幅为  $7.13\% \sim 24.21\%$ , 其中 T5 处理下的净收益最高, 为  $1062 \text{元} \cdot (667 \text{m}^2)^{-1}$ , 各处理下谷子净收益表现依次为  $T5 > T3 > T4 > T2 > T1 > CK$ 。

表 6 微生物菌剂对谷子种植收益的影响

单位:  $\text{元} \cdot (667 \text{m}^2)^{-1}$ 

处理	菌剂投入	其他生产投入	总产值	净收益
CK	0	520	1375	855
T1	10	520	1446	916
T2	12	520	1498	966
T3	20	520	1566	1026
T4	15	520	1522	987
T5	25	520	1607	1062

### 3 讨论

微生物菌剂中含有大量微生物可以活化土壤中的养分物质,提高土壤速效养分和有机质含量<sup>[16-17]</sup>。本研究中,微生物菌剂处理后土壤各养分含量较CK均显著提高,这与哈雪皎等<sup>[18]</sup>、胡诚等<sup>[19]</sup>研究结果基本一致,这可能是菌剂中的微生物改善了谷子根际环境与根系生理,直接促进对营养元素的吸收,也可能是微生物通过生物固定和矿化分解等作用方式改变了土壤养分的有效性,从而间接地影响谷子对养分的吸收<sup>[20]</sup>。不同菌剂处理下土壤养分指标改良情况各不相同,这说明不同微生物菌剂对土壤养分的活化能力也不尽相同,其对土壤养分活化机理需在后续试验中进一步探讨。

土壤中的微生物和植物根系能够分泌土壤酶<sup>[21]</sup>,其活性大小是衡量土壤肥力的重要标志,也是使土壤中的有机养分有效转化的重要因子<sup>[22-23]</sup>。毕少杰等<sup>[24]</sup>认为,以底肥形式施用微生物菌剂可以提高谷子抽穗期根际土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶和磷酸酶的活性。范娜等<sup>[25]</sup>认为,适宜微生物菌剂可显著提高土壤酶活性,有效改善地块肥力,从而使作物从土壤中获取更多的养分并增产。本文中各处理均较CK显著提高了谷子根际土壤中蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性,但是菌剂间对不同种类酶活性的影响存在差异,这与前人的研究结果基本一致。微生物菌剂能够增强土壤中各种酶活性可能是由于微生物菌剂还可诱导植株产生一些酶类物质,另一方面可能是因为菌剂中含有大量的有机质,能够一定程度上增加土壤酶活性。

光合作用是指利用光能将CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O转化成有机物并释放出O<sub>2</sub>的过程,是植物进行生产的基础<sup>[26]</sup>。王其传等<sup>[27]</sup>通过在辣椒育苗基质中施入不同微生物菌剂研究对辣椒苗光合特性的影响,结果表明所有菌剂处理均能显著改善辣椒苗的光合特性。王梦亮等<sup>[28]</sup>研究两种微生物菌剂对枣树光合特性的影响,结果表明参试菌剂均能显著提高枣树叶片的叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度,其中复配型菌剂效果最佳。本研究中,使用菌剂处理后嫩选21的各光合指标均较CK显著提高,这与前人研究结果一致。

董娟兰等<sup>[29]</sup>使用腐植酸肥料对谷子进行拌种、叶面喷施处理,可使谷子小穗数、穗重、千粒重

显著增加。方瑞琳等<sup>[30]</sup>以4种微生物菌剂处理谷子,结果表明谷子经过菌剂处理后,穗粗、单穗粒重显著增加,并使谷子增产,但是对千粒重及穗长影响不显著。其研究表明菌剂还可促进谷子根、茎、叶的生长,茎秆更加粗壮,进而可以提高谷子的抗倒性。本研究中嫩选21经过菌剂处理后农艺性状和产量性状得到明显改善,穗长、穗粗、茎粗、株高、穗重、穗粒重、产量与对照相比均有显著提高,但千粒重差异不显著,本研究的结果与前人相比基本一致,但也略有差异,这可能是参试谷子品种及微生物菌剂差异造成的。

### 4 结论

在苗期通过灌根方式施用微生物菌剂可不同程度提高谷子田土壤酶活性、改善根际土壤养分,施用微生物菌剂后,除千粒重外,各农艺性状和产量性状均较CK显著提高,光合性能显著提升,并最终体现为增产,结果表明复合微生物菌剂处理效果最佳,较CK增产16.86%、净收益增加24.21%,可为黑龙江省谷子大田高产栽培提供参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 李荫梅. 谷子育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [2] 赵娟, 尹艺臻, 王晓璐, 等. 不同品种谷子愈伤组织对拿捕净胁迫的生理响应[J]. 中国农业科学, 2020, 53(5): 917-928.
- [3] 邵丽华, 王莉, 白文文, 等. 山西谷子资源叶酸含量分析及评价[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1265-1272.
- [4] 钟林炳, 王道泽, 黄越, 等. 不同类型微生物肥料在梨树栽培上的应用[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(2): 314-319, 420.
- [5] 冯国明. 浅谈微生物肥料的特性与特殊作用[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2011(10): 41.
- [6] 武杞蔓, 张金梅, 李明莹, 等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展[J]. 生物技术通报, 2021, 37(5): 221-230.
- [7] 陈晓燕, 王小琳, 谢先进. 不同微生物菌剂对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 热带农业科学, 2021, 41(9): 11-16.
- [8] 贺国强, 邓志平, 刘展志, 等. 菌剂、沼液及其复配对玉米经济性状和产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(4): 24-29.
- [9] 谢慧敏, 吴可, 刘文奇, 等. 海藻肥与微生物菌剂部分替代化肥对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 作物杂志, 2022(1): 161-166.
- [10] 李晶晶, 刘聪, 王鑫鑫, 等. 微生物菌剂对青椒生长、品质和土壤养分状况的影响[J]. 北方园艺, 2021(13): 1-10.
- [11] 何飞燕, 杜全能, 杨正, 等. 复合微生物菌剂对花生生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 104-109.
- [12] 钟延平, 赵胜利, 段钧雷, 等. 微生物菌剂对茄子幼苗生长性状的影响[J]. 北方农业学报, 2020, 48(4): 105-109.
- [13] 范娜, 彭之东, 白文斌, 等. 微生物菌剂对土壤酶活性及高粱生长的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(2): 185-192.

- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 马凤捷,蔡立群,刘垠霖,等. 不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质及土壤养分和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2):69-77.
- [17] 邱晓丽,周洋子,董莉,等. 生物有机肥对马铃薯根际土壤生物活性及根系活力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019,37(3):162-169.
- [18] 哈雪蛟,左继民,司长城,等. 施用生物有机肥及生物菌剂对西瓜产量、品质及土壤养分含量的影响[J]. 中国瓜菜, 2018,31(10):45-48.
- [19] 胡诚,曹志平,罗艳蕊,等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007,15(3):48-51.
- [20] KUZYAKOV Y, FRIEDEL J K, STAHR K. Review of mechanisms and quantification of priming effects[J]. Soil Biology and Biochemistry,2000,32(11/12):1485-1498.
- [21] TADANO T, OZAWA K, SAKAI H, et al. Secretion of acid phosphatase by the roots of crop plants under phosphorus-deficient conditions and some properties of the enzyme secreted by lupin roots[J]. Plant and Soil, 1993, 155(1): 95-98.
- [22] BURNS R G. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 14(5): 423-427.
- [23] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报,2008,32(1):176-182.
- [24] 毕少杰,洪秀杰,王国兴,等. 沼渣微生物菌剂对土壤微生物数量、酶活及谷子生长的影响[J]. 湖北农业科学,2015, 54(16):3868-3871,3874.
- [25] 范娜,彭之东,白文斌,等. 微生物菌剂对土壤酶活性及高粱生长的影响[J]. 中国农业科技导报,2021,23(2):185-192.
- [26] 薛义霞,李亚灵,温祥珍. 空气湿度对高温下番茄光合作用及坐果率的影响[J]. 园艺学报,2010,37(3):397-404.
- [27] 王其传,孙锦,束胜,等. 微生物菌剂对日光温室辣椒生长和光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(6):7-12.
- [28] 王梦亮,苏俊萍,王俊宏,等. 叶面喷施微生物菌剂对黄河滩红枣生理和品质的影响[J]. 山西大学学报(自然科学版),2012,35(3):568-571.
- [29] 董娟兰,石龙,杨红梅.“粤丰禾”牌可溶性腐植酸肥料在谷子上的应用效果试验[J]. 腐植酸,2013(3):37.
- [30] 方瑞琳,王帝,王雨婷,等. 不同微生物菌剂对谷子主要农艺性状及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021,33(2):1-6,39.

## Effects of Different Microbial Agents on the Growth of Foxtail Millet and Enzyme Activities of Soil

YAN Feng, DONG Yang, ZHAO Fuyang, HOU Xiaomin, LI Qingquan, ZENG Lingling, LU Huan, WANG Bingxue

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** In order to verify the application effect of microbial agents in millet production, and screen out the best microbial agents, with Nenxuan 21 as the experimental material, a field experiment was conducted to set up six treatments; irrigation with five microbial agents (*Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* and compound microbial agents) and no microbial agents (CK) at seedling stage. The agronomic traits, yield traits, photosynthetic characteristics, soil nutrient content, enzyme activity and other indicators of millet under different treatments were analyzed. The results showed that compared with CK, the contents of total nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil were significantly increased, and the activities of urease, invertase and neutral phosphatase were significantly enhanced after applying microbial agents. All five microbial agents can significantly improve the agronomic traits (ear length, ear diameter, plant height and stem diameter), yield traits (ear weight and grain weight per ear) and photosynthetic characteristics (net photosynthetic rate, transpiration rate and intercellular CO<sub>2</sub> concentration) of Nenxuan 21, but had no significant effects on 1000-grain weight. Among the tested inoculant treatments, the composite microbial inoculant treatment had the best effect on improving soil fertility and enzyme activity, and the highest millet yield, 16.86% higher than CK, and 24.21% higher net yield. Therefore, the compound microbial agent has a good application effect on corn, and can be applied to high-yield cultivation of millet in Heilongjiang.

**Keywords:** microbial agents; foxtail millet; enzyme activity; growth