

不同促生菌混配对燕麦生长及品质的影响

张惠荣,姚拓,马亚春,李明源

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美
草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:以前期研究筛选出的具有固氮、溶磷、分泌激素和生防特性的6株耐低温植物根际促生菌(G12、I1、Fn1、mF-4、mJ-2、Bn12)为研究材料,采用盆栽法,设不同菌液用量,T1(1:0:0:0)、T2(0:1:0:0)、T3(3:5:1:1)、T4(4:4:1:1)和T5(CK)共计5个处理,测定不同比例下燕麦生长指标和营养指标,研制对燕麦生长和品质影响最佳的复合微生物菌剂。结果表明:与T5相比,各促生菌组合处理均能促进燕麦生长和提高燕麦品质。燕麦株高、茎粗分别增加了5.18%~14.15%和27.37%~40.51%;鲜重、干重分别增加了17.20~28.95 g和3.10~5.95 g;粗蛋白、粗脂肪蛋白分别增加了6.42%~29.57%和0.65%~2.06%;中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量以及相对饲用价值分别增加了1.19%~4.07%、0.17%~4.63%和0.99%~6.17%。灰色关联度综合分析表明,不同比例菌株制作的菌剂加权关联度:T3(0.171)>T2(0.168)>T4(0.143)>T1(0.137)>T5(0.081)。处理T3(固氮、溶磷、分泌IAA和产铁载体4种特性的促生菌体积比是3:5:1:1)对燕麦生长和品质的影响均明显高于其他处理和CK,是后续研制微生物菌肥较为理想的配方。

关键词:植物根际促生菌;燕麦;菌株组合;生长;品质

中图分类号:S512.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0062-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2022.01.008



燕麦是禾本科燕麦属一年生作物,在我国主要分布于西北和东北等半干旱高寒地区和农牧过渡带,得天独厚的地域优势降低了燕麦的生产成本^[1]。研究表明,全世界种植燕麦的面积已经达到250万hm²^[2],而全球的消耗量将达到1100万吨^[3]。近年来,燕麦的大量种植主要是因为它的食用价值、药用价值和饲用价值等,燕麦中含有大量的水溶性纤维等成份,有降低胆固醇、控制血糖和改善便秘等作用^[4-6]。

农药和化肥的超标使用,不仅不符合国家的绿色生产要求,同时也会降低燕麦的利用价值。继2017年后,2020年中央一号文件再次正式提出要落实绿色农业和清洁生产,强调在根源上治理污染的同时,还要促

进化肥和农药的减施和高效利用^[7]。这就使得微生物菌肥的生产迫在眉睫,与化肥相比,微生物菌肥在改良土壤环境的同时,还会在一定程度上增加作物产量,有助于实现国家倡导的绿色农业^[8]。

植物根际促生菌(PGPR)是一类分布于植物根际或根系表面与其共生并对植物产生促生作用或者可以抑制植物病原菌的一大类细菌^[9]。近年来,国内外针对不同植物的根际促生菌研究较多,李永斌等^[10]发现从小麦的根际土壤分离的优良菌株再接种于小麦,会使其亩产量显著增加;Roriz Mariana等^[11]研究发现,将优良的PGPR菌剂接种到缺铁的大豆中,会促进铁在叶片中的积累。随着植物根际促生菌剂逐渐产业化,很多学者也开始对植物根际促生菌的不同功能进行研究,促生菌可以提高马铃薯的生物量、产量和蛋白质的含量,促进辣椒根系的生长^[12-13];还能够将燕麦茎干物质的比例提高13.68%,提高燕麦的产量和抗逆性^[14-16]。以上研究均是微生物单一菌剂的研究,而微生物混合菌种菌剂相较于单一菌剂的优点是适应能

收稿日期:2021-03-01; **修回日期:**2021-04-09

基金项目:甘肃省林业和草原局科技支撑(GFG2019-366-2);兰州市科技计划项目(2019-1-76)

作者简介:张惠荣(1995-),女,甘肃兰州人,硕士研究生。

E-mail:2298100396@qq.com

姚拓为通信作者。E-mail:yaotuo@gsau.edu.cn

力与促生能力均能提高,且更稳定,也是微生物菌剂将来的发展趋势^[17]。微生物复合菌剂的制作包括微生物物种的整合和选择^[18],而物种整合则是以菌株的功能为基础,通过构建微生物复合菌剂数学模型,对微生物的配比进行研究,但是目前国内外对于混合微生物菌剂配比的研究较少,而针对燕麦的微生物混合菌剂的配比研究更少。基于此,利用前期筛选的 6 种 PGPR 菌株为材料,设计不同的菌株混合比例(体积比),制作微生物菌剂,进行盆栽试验,测定其

对燕麦生长和品质的影响,为后续微生物菌肥研制提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试种子 供试燕麦品种为贝勒 2 代,发芽率为 92%,由甘肃农业大学草业学院提供。

1.1.2 供试菌株 供试菌株由甘肃农业大学草业学院草地微生物实验室提供,其特性见表 1。

表 1 PGPR 菌肥制作所用菌株

Table 1 PGPR strains used for biofertilize producing

菌株	菌株学名	促生特性	固氮酶活性/ (nmol · m ⁻¹ · h ⁻¹)	溶磷量/ (mg · L ⁻¹)	分泌激素量/ (μg · mL ⁻¹)	生防
G12	<i>Serratia bozhouensis</i>	固氮	545.23	—	—	—
I1	<i>Erwinia billingiae</i>	固氮	293.17	—	—	—
Fn1	<i>Erwinia billingiae</i>	溶磷(无机磷)	—	223.24	—	—
mF-4	<i>Pseudomonas simiae</i>	溶磷(有机磷)	—	13.26	—	—
mJ-2	<i>Pseudomonas kairouanensis</i>	分泌激素	—	—	46.44	—
Bn12	<i>Pseudomonas kairouanensis</i>	生防	—	—	—	对尖刀镰包 菌抑制率 为 34%

1.1.3 菌肥制作 将平板上的 6 株 PGPR 菌株接种于液体 LB 培养基,180 r/min,20 ℃ 的摇床中培养 24 h,用平板对峙法^[19]测定菌株间的拮抗作用,在确保菌株之间没有拮抗反应的情况下,将各菌株以体积比为 1% 的接种量接种于含 100 mL 的无菌液体 LB 培养基中进行扩繁(两株固氮菌以体积比 1:1、两株溶磷菌株以体积比 1:1 的比例分别混合培养,分泌 IAA 菌株和生防菌株分开培养),培养 48 h 后测定其 D_{600nm} 值,待菌悬液中活菌数量大于 10⁸ cfu/mL 即可作为微生物菌肥使用。

1.2 试验设计

试验于 2020 年 8 月在甘肃农业大学草业学院智能生长室进行,模拟室外生长条件,白天,2 × 10⁴ lx 光照 16 h,湿度 55%,温度 20 ℃;夜晚,黑暗 8 h,湿度 60%,温度 19 ℃。试验设 5 个处理,每个处理 3 次重复(按比例每杯共加菌液 12 mL)(表 2)。挑选饱满、完好无损的燕麦种子,用 5% 的 NaClO 消毒 3 min,然后无菌水浸泡 2 h,置于外径 13 cm,高 9.5 cm 的 Hoaglands 营养液的塑料杯中培养,每杯 5 株,生长温度 20 ℃,培养 7 d 后每杯加入 12 mL 的菌液,定期添加 Hoaglands 营养液供植株良好生长,燕麦生长 45 d 拔

节期时将地上部分收获。

表 2 试验处理

Table 2 Test treatment

处理	菌株			
	G12、I1 (固氮)	Fn1、mF-4 (溶磷)	mJ-2 (分泌 IAA)	Bn12 (生防)
T1	1	0	0	0
T2	0	1	0	0
T3	3	5	1	1
T4	4	4	1	1
T5(CK)	0	0	0	0

1.3 测定指标及其方法

在燕麦拔节期,用卷尺测定不同处理下的株高(燕麦根茎部到主茎顶部的绝对高度);茎粗采用游标卡尺测定;每个塑料杯中的 5 株燕麦全部收获,烘箱 105 ℃、30 min 杀青,然后在 80 ℃ 下烘干至恒重,称重,计算燕麦的干草产量^[20];半微量凯氏定氮法测定粗蛋白含量^[21];索氏提取法测定粗脂肪含量^[22];Van Soest 法测定酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量^[23]。

1.4 灰色关联度综合分析

根据灰色系统关联度理论^[24],将菌肥处理对燕麦生长和营养品质的影响进行综合性评价。以不添加菌

肥的 CK 为参考,其他不同比例菌肥处理的各项指标为比较模式。分别计算出关联系数、关联度。

关联系数计算公式:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_{i k} |X_0(k) - X_i(k)| + \max_{i k} |X_0(k) - X_i(k)|}{\max_{i k} |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \min_{i k} |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中: $\max_{i k} |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差, $\min_{i k} |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最小差, ρ 为分辨系数,取值 0.5。

$$\text{权重系数公式: } W_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$$

$$\text{等权关联度公式: } r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (\text{其中 } n \text{ 为样本数})$$

$$\text{加权关联度公式: } r_i' = \sum_{k=1}^n W_i(k)$$

1.5 统计分析

采用 Excel 2010 对试验数据进行处理及图表绘制,采用 SPSS20.0 进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同比例菌肥处理对燕麦生产性能的影响

2.1.1 不同比例菌肥处理对燕麦株高的影响 与 CK 相比,各比例的菌肥处理对燕麦的株高均有不同程度的促进作用。T1—T4 处理分别较 CK 增加了 5.75%、5.18%、14.15%、5.53%;不同比例菌肥处理对燕麦株高的影响为: T3 > T1 > T4 > T2 > CK,其中处理 T3 相较于 CK 差异显著 ($P < 0.05$),处理 T1、T2 和 T4 之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 1)。

2.1.2 不同比例菌肥处理对燕麦茎粗的影响 不同比例菌肥处理对燕麦茎粗的影响与株高极为相似,各处理均与 CK 差异显著 ($P < 0.05$),差异为 27.37%~40.51%,表现为 T2 > T4 > T1 > T3 > CK,其他各处理间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

2.1.3 不同比例的菌肥处理对燕麦地上生物量的影响 不同比例菌肥处理对燕麦鲜重和干重影响不同。不同比例的菌肥处理对燕麦鲜重的影响分别表现为: T3 > T2 > T1 > T4 > CK; 对干重的影响分别表现为: T3 > T4 > T2 > T1 > CK。鲜重、干重均为 T3 处理表现最佳,鲜重较 CK 相比增加 28.95 g,干重较 CK 相比增加 5.95 g,其余 3 个处理与 CK 相比差异显著。

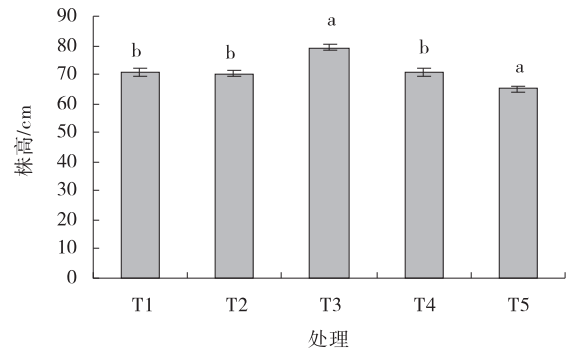


图 1 不同比例菌肥处理下燕麦的株高

Fig. 1 Effect of different fertilization treatments on plant height of oats

注:T1:体积比 1:0:0:0;T2:体积比 0:1:0:0;T3:体积比 3:5:1:1;T4:体积比 4:4:1:1;T5:对照 CK,总体积 12 mL。下同

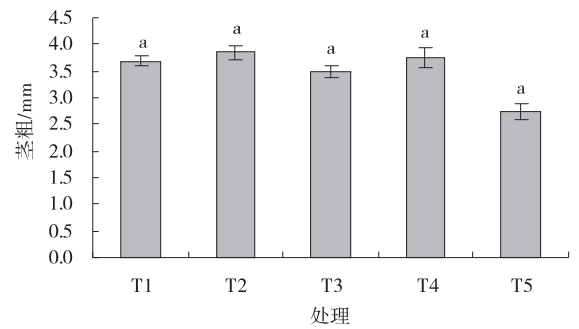


图 2 不同比例菌肥处理下燕麦的茎粗

Fig. 2 Effect of different fertilization treatments on stem diameter of oats

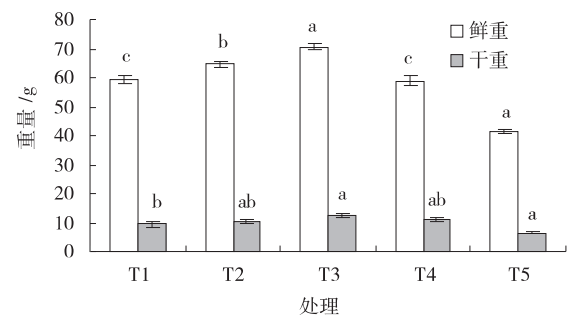


图 3 不同比例菌肥处理下燕麦的鲜、干重

Fig. 3 Effects of different bacterial fertilizer on dry and fresh weight of oat

2.2 不同比例菌肥处理对燕麦营养指标的影响

2.2.1 不同比例菌肥处理对燕麦粗蛋白含量的影响

不同比例菌肥处理对燕麦粗蛋白含量的影响不同。各处理粗蛋白含量在 7.00%~9.07%,较 CK 增加了 6.42%~29.57%。处理 T3 表现最佳,较 CK 增加了 29.57%;处理 T1、T2 和 T4 间差异不显著 ($P >$

0.05); T1、T2 较 CK 差异显著 ($P < 0.05$), T4 与 CK 间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 4)。

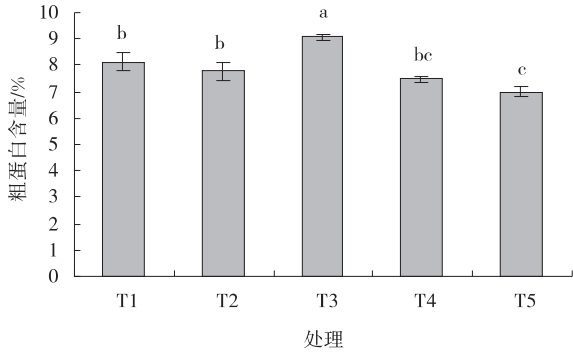


图 4 不同比例菌肥处理下燕麦的粗蛋白含量

Fig. 4 Effect of different fertilization treatments on crude protein of oat

2.2.2 不同比例菌肥处理对燕麦粗脂肪的影响 4 种比例的菌肥处理均能提高燕麦的粗脂肪含量。各处理较 CK 增加了 0.65%~2.06%, 其中处理 T2 效果最为显著, 粗脂肪含量达到 7.80%, 较 CK 表现为差异显著 ($P < 0.05$); 而处理 T4 与 CK 相比只增加了 0.65%, 差异不显著。T1、T3 和 T4 处理间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 5)。

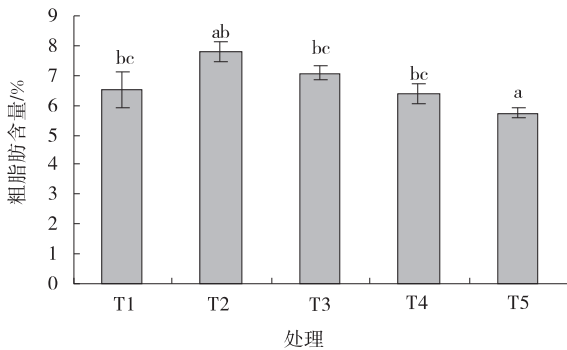


图 5 不同比例菌肥处理下燕麦的粗脂肪含量

Fig. 5 Effects of different fertilization treatments on ether extract of oats

2.2.3 不同比例菌肥处理对燕麦 ADF、NDF 和 RFV 的影响 不同处理间 ADF、NDF 和 RFV 含量差异显著。T1 的 ADF 含量最低, 为 39.51%, 显著低于 CK, 较 CK 低 1.83%, 各处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。NDF 含量变化与 ADF 含量变化极为相似, 其中处理 T4 的 NDF 含量最低, 为 55.35%, 与 CK 相比减少 2.25%, 各处理间差异均不显著 ($P < 0.05$)。处理 T4 的 RFV 最大, 为 97.29%, 较 CK 相比增加了 5.65%, 处理 T1、T2 和 T3 之间无显著差异 ($P < 0.05$), 但均高于 CK (表 5)。

表 3 不同比例菌肥处理燕麦的 ADF、NDF 和 RFV

Table 3 Relative feeding value of differently

处理	treated oats			%
	ADF	NDF	RFV	
T1	39.51±0.47 ^a	56.13±0.60 ^{ab}	96.35±1.58 ^{bc}	
T2	40.69±0.92 ^a	55.78±0.39 ^{ab}	95.42±1.85 ^{bc}	
T3	41.41±0.17 ^a	56.92±0.22 ^{ab}	92.56±0.53 ^{bc}	
T4	39.83±0.62 ^a	55.35±0.65 ^b	97.29±1.62 ^b	
T5	41.34±0.84 ^a	57.60±0.99 ^a	91.64±2.36 ^c	

2.2.4 灰色关联度分析 不同比例菌肥的加权关联度为 T3 (0.171) > T2 (0.168) > T4 (0.143) > T1 (0.137) > CK (0.081)。综合上述结果得出: T3 处理对于燕麦的生长和品质的提高效果最为显著 (表 4)。

表 4 不同比例菌肥处理关联度排序

Table 4 Correlation degree sorting of differently treated

处理	等权关联度 GCD	等权排序 EWO	加权关联度 WGCD	加权排序 WO
T1	0.687	4	0.137	4
T2	0.762	2	0.168	2
T3	0.767	1	0.171	1
T4	0.702	3	0.143	3
T5	0.529	4	0.081	5

3 讨论

3.1 不同比例的菌肥处理对燕麦生长的影响

本研究结果表明, 不同比例的菌肥处理对燕麦的株高、茎粗以及地上生物量均有不同程度的增加, 其中处理 T3 的增产效果最为明显。株高和茎粗分别增加了 7.96%~21.73 和 27.37%~45.26%, 这是由于菌株在生长和繁殖过程中, 可以提供植物生长直接利用的营养元素, 也会产生对植物有益的代谢产物, 以此促进植物的生长; 产生的赤霉素和脱落酸等, 不仅会促进植物株高增加, 也会使植物横向生长, 使植物茎粗有不同程度的增加^[25]; 彭佳俊等^[26]研究表明: 增施菌肥与常规化肥相比, 能有效增加油茶果的横茎; 杨锋等^[27]研究表明: 微生物菌肥与化肥配施与单施化肥相比青菜的株高增加了 0.33 cm, 也使得产量显著增加, 均与本试验结果一致。菌株 mJ-2 产生的吡啶乙酸含有的根瘤菌会增加植物生长过程中所必须的氮素, 同时固氮菌会分泌多种维生素, 为植物提供氮素, 也会改变燕麦根系 IAA 的内源层, 菌株在其代谢过程中, 会增加营养液中的酸根离子, 进而促进植物吸收和生长^[28]; 李云玲等^[29]研究表明: 溶磷特性良好的草木樨中华根

瘤菌 CHW10B 显著提高南方红豆杉的苗高和地上生物量;邢芳芳等^[30]利用 1 株高产 IAA 菌株 HB-1 显著提高了白菜的产量,均与本研究结果相似。菌株 Fn1 和 mF-4 均是溶磷菌株,除了向燕麦提供磷素以外还会通过一些途径刺激 BNF 的转化效率,增强植物对于其他有益离子的利用率,从而促进植物的生长。

3.2 不同比例菌肥对燕麦品质的影响

燕麦品质是衡量菌肥效果的重要指标。研究发现,不同比例的菌肥对燕麦的粗蛋白、粗脂肪以及粗纤维含量较 CK 均有不同程度的增加,粗蛋白和粗脂肪的含量分别较 CK 增加 6.42%~42.67%和 0.65%~3.10%;酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量较 CK 均有不同程度的降低,其中处理 T3 相较于 T5 差异显著,分别降低了 3.56%和 5.34%。张博琦等^[31]研究表明,微生物菌肥显著提高玉米秸秆的粗蛋白含量,较 CK 增加 9.1%,而且酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量降低了 17.20%和 13.91%。研究发现,施用微生物菌肥会使植物吸收可溶性蛋白和可溶性糖的量增加,还会改变根系形态等,从而提高植物的品质^[32-33];菌株 Bn12 主要起生防作用,会产生铁载体,螯合不溶性的铁,隔离燕麦根际中有限的铁离子,降低有害离子的竞争作用,从而增强植物的抗逆性,增加产量和提高燕麦品质;Chen 等^[34]研究证实,PGPR 能提高植物对锰的吸收,锰可以作为许多氧化还原反应的活化剂,并参与植物的光合作用,提高植物品质;菌株 mJ-2 分泌的 IAA 会影响燕麦的分裂和分化,提高根系发育速率,从而会提高燕麦的营养品质;Hortencia 和 Victor^[35]研究表明,PGPR 对番茄果实品质有积极影响,特别是果实的大小和质地;Yanni 等^[36]从水稻分离出联合固氮细菌并回接到水稻上,显著提高了水稻的粗蛋白含量 ($P < 0.05$)。

4 结论

固氮、溶磷、分泌 IAA、生防菌株以 3:5:1:1 的比例混合施用促进燕麦生长,提高其营养品质效果最为显著。

参考文献:

[1] 苏日娜. 中国燕麦产业发展研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
[2] 侯龙鱼,朱泽义,杨杰,等. 我国饲草用燕麦现状、问题和

潜力[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2019,45(3): 248-253.

- [3] 徐康. 酶法制备燕麦乳饮料的工艺技术研究[D]. 广州:暨南大学,2010.
[4] 郭丽娜. 燕麦品种品质及其降血脂功效研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
[5] 孙伊琳. 高添加燕麦挂面加工技术研究及其调脂降糖功能评价[D]. 杭州:江苏大学,2019.
[6] 李正华. 燕麦对肠道健康的保健价值[J]. 安徽农业科学, 2015,43(21):21-22+144.
[7] 杨闯. 许昌市农户化肥减量施用问题研究[D]. 郑州:河南财经政法大学,2020.
[8] 符艺潇. 微生物菌肥在农业种植上应用效果的调研报告[D]. 大连:大连工业大学,2019.
[9] 李建宏. 优良植物根际促生菌 *Bacillus mycoides* Gnyt1 特性研究及全基因组测序分析[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2017.
[10] 李永斌,李云龙,美国华,等. 植物根际促生菌的筛选、鉴定及其对小麦的减肥增产效果[J]. 农业生物技术学报, 2020,28(8):1471-1476.
[11] Roriz Mariana, Pereira Sofia I A, Castro Paula M L, *et al.* Iron metabolism in soybean grown in calcareous soil is influenced by plant growth-promoting rhizobacteria-a functional analysis[J]. Science Report, 2020, 17:100274.
[12] Batool Tahira, Ali Shafaqat, Seleiman Mahmoud F, *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities[J]. Science Report, 2020, 10(1):16975
[13] Weilan Li, Seung-Yeol Lee, Young-Je Cho, *et al.* Mediation of induced systemic resistance by the plant growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* S2-3-2 [J]. Molecular Biology Report, 2020, 47(11):8429-8438.
[14] 田露,刘景辉,赵宝平,等. 保水剂和微生物菌肥配施对旱作燕麦干物质积累、分配、转运和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9):2996-3003.
[15] 李琦,姚拓,杨晓玫,等. 半干旱地区不同剂型微生物菌肥替代部分化肥对燕麦生长和品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(3):159-165.
[16] 刘亚东,刘景辉,卿香玉,等. 生物菌肥对燕麦叶片生理特性及产量的影响[J]. 北方农业学报, 2019, 47(3):58-63.
[17] Chen M M, Chen B D, Marschner P. Plant growth and soil microbial community structure of legumes and gras-

- ses grown in monoculture or mixture[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20: 1231–1237.
- [18] Hortencia G M, Victor O. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 113 (1): 103–106.
- [19] 荣良燕, 姚拓, 赵桂琴, 等. 产铁载体 PGPR 菌筛选及其对病原菌的拮抗作用[J]. *植物保护*, 2011, 37(1): 59–64.
- [20] 高龙. 晋北柽柳林分生物量分布特征调查[J]. *山西林业科技*, 2017, 46(1): 12–16+22.
- [21] 谷瑶, 曾永明, 陈松武, 等. K12A 全自动凯氏定氮仪测定核桃蛋白质含量[J]. *农产品加工*, 2020(24): 46–48.
- [22] 钟生辉. 索氏提取-气相色谱法测定土壤中 21 种酚类化合物[J]. *江西化工*, 2020, 36(6): 65–68.
- [23] 苏玲玲, 申煜, 张志军. 纤维袋法测定饼粕类饲料原料中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的研究[J]. *饲料博览*, 2013(8): 1–5.
- [24] 郑敏娜, 李荫藩, 梁秀芝, 等. 晋北地区引种苜蓿品种的灰色关联度分析与综合评价[J]. *草地学报*, 2014, 22(3): 631–637.
- [25] 褚义红. 不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [26] 彭佳俊, 钟紫香, 李婷婷, 等. 生物菌肥对油茶果实性状及产量的影响[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(20): 90–94.
- [27] 杨锋. "赐保康"微生物菌肥在青菜上的应用效果试验[J]. *上海农业科技*, 2020(3): 94+97.
- [28] 薛应钰, 叶巍, 杨树, 等. 一株溶磷菌的分离鉴定及溶磷促生作用[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(4): 253–262.
- [29] 李云玲, 侯沁文, 刘瑞祥, 等. 草木樨中华根瘤菌 CHW10B 溶磷特性及其对南方红豆杉的促生作用[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(5): 751–758.
- [30] 邢芳芳, 高明夫, 胡兆平, 等. 1 株高产 IAA 菌株的筛选、鉴定及对白菜的促生作用[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(10): 458–460.
- [31] 张博琦. 新型微生物菌肥对饲料玉米生长及营养成分的影响[D]. 延边: 延边大学, 2019.
- [32] 李荣喜, 黄敏, 张妃龙, 等. 有机肥与微生物菌肥混合使用对生菜产量与品质的影响[J]. *广东蚕业*, 2018, 52(3): 13–14.
- [33] 马文彬, 姚拓, 王国基, 等. 根际促生菌筛选及其接种剂对箭筈豌豆生长影响的研究[J]. *草业学报*, 2014, 23(5): 241–248.
- [34] Chen M M, Chen B D, Marschner P. Plant growth and soil microbial community structure of legumes and grasses grown in monoculture or mixture[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20: 1231–1237.
- [35] Hortencia G M, Victor O. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 113 (1): 103–106.
- [36] Yanni Y G, Rizk R Y, El-Fattah F K, *et al.* The beneficial plant growth-promoting association of *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii with rice roots [J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2001, 28: 845–870.

Effects of different combinations of growth promoting bacteria on growth and quality of oat

ZHANG Hui-rong, YAO Tuo, MA Ya-chun, LI Ming-yuan

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Six strains (G12, I1, Fn1, mF-4, mJ-2, Bn12) with characteristics of nitrogen fixation, phosphate solubilization, hormone secretion and iron-producing carriers were selected as materials for the study based on former research with each basin being added in proportion to a total of 12 mL liquid bacteria, namely: treatment T1(1:0:0:0), treatment T2(0:1:0:0), treatment T3(3:5:1:1) and treatment T4(4:4:1:1). The results showed that the growth and quality of oat were improved by all the combinations of growth-promoting bacteria com-

pared with T5(CK). Specifically, plant height and stem diameter increased by 5.18%~14.15% and 27.37%~40.51%; fresh weight and dry weight increased by 17.20 g~28.95g and 3.10 g~5.95 g; crude protein and crude fat increased by 6.42% ~ 29.57% and 0.65% ~ 2.06% respectively. The value of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and relative feeding value increased by 1.19%~4.07%, 0.17%~4.63% and 0.99%~6.17% respectively. The comprehensive analysis of grey relational grade showed that the weighted relational grade of inoculum produced by different proportion of strains was T3(0.171) > T2(0.168) > T4(0.143) > T1(0.137) > T5(0.081). Treatment T3(nitrogen fixation: phosphate solubilization: IAA secretion: siderophore is 3:5:1:1) was superior to other treatments and T5 in growth and quality. The experiment implied that T3 is an ideal formulation for the development of microbial fertilizer.

Key words: plant rhizosphere growth promoting bacteria; oat; strain combination; growth; quality

(上接 66 页)

Comparison of yield and nutritional quality of 4 graminaceous forages on plateau under arid environment

WANG Xiao-tong^{1,2}, LIU Xiao-ni¹, TANG Jun-wei², JIA Shun-bin², MA Li²

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 3. Qinghai Provincial Grassland Station, Xining, 810008)

Abstract: In order to select excellent forages suitable for the arid and semi-arid area around Qinghai Lake, the performance and nutritional value indexes of four native grasses growing in the plateau area were determined, and the comprehensive evaluation was made by the grey relational analysis method. The results show that leaf-stem ratio and fresh-dry ratio of *Roegneria grandiglumis* and *Agropyron cristatum* are higher than others. The hay yield of *Elymus breviaristatus* cv. Tongde is the highest. There is no significant difference in the grass yield among *R. grandiglumis*, *A. cristatum* and *R. pauciflora* cv. Tongde. Nutritional value of *A. cristatum* is the best. The comprehensive evaluation performance ranks from high to low as *A. cristatum* > *R. grandiglumis* > *R. pauciflora* cv. Tongde > *E. breviaristatus* cv. Tongde.

Key words: arid environment; graminaceous forage; yield; nutritional value; grey correlation analysis