

不同剂型促生菌肥与化肥配施对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响

李琦,冯影,张建贵,杨晓玫,姚拓

(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:利用前期从植物分离的5株PGPR菌株,制作成固体(GF)、液体(YF)和包衣(BF)3种菌肥剂型,设置11个处理(GF、YF、BF、GF+7/10H、YF+7/10H、BF+7/10H、GF+1/2H、YF+1/2H、BF+1/2H、CK、H)。研究菌肥与化肥配施对紫花苜蓿生产性能和营养品质的影响。结果表明:与不施肥处理(CK)相比,固体菌肥+70%化肥处理(GF+7/10H)显著提高了紫花苜蓿的生产性能,株高达到47.95 cm,提高紫花苜蓿干草产量47.78%,是全量化肥处理的1.11倍,使紫花苜蓿营养品质显著提升,相对饲用价值为125.87,显著高于其他处理。微生物菌肥替代30%化肥与全量化肥相比对紫花苜蓿生产性能及营养品质无显著差异,即使用固体微生物菌肥可替代30%化肥,并能提高紫花苜蓿产量,改善其营养品质。

关键词:紫花苜蓿;剂型;微生物菌肥;生产性能;营养品质

中图分类号:S541.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)01-0074-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.01.011

我国是化肥使用大国,施肥是作物增产的主要途径,但农业生产中化肥存在施用量大和使用不当等问题,不仅浪费肥料、增产效果低,还造成了土壤退化、农产品品质下降、污染环境等问题,对我国食品及环境安全构成了威胁^[1]。因此,探寻新的肥源来替代或部分替代化肥的研究显得越来越重要。在此背景下,近20年来经过研究者的不断努力,微生物肥料的研究与应用研究有了很大的突破,其中以植物根际促生菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)为主要成分研制的新型PGPR菌肥已成为国内外化肥替代物研究的热点之一^[2]。从不同植物根际分离PGPR菌株,对菌株进行固氮、溶磷、分泌生长激素等促生能力测定,将筛选出的优良根际促生菌进行生物菌肥制

作,制作的PGPR菌肥具有改善作物营养状况、调节植物的生长、抑制植物病害、增强植物的抗逆性等优良特性^[3]。影响PGPR菌肥使用效果的因素有很多,如菌株促生特性、菌肥有效活菌数、菌肥作用植物和菌剂剂型等,其中菌剂剂型是决定微生物在土壤中定植量的重要因素^[4]。

我国微生物肥料在应用研究方面发展比较缓慢,基础研究不足,科研水平较弱,在菌株筛选、鉴定、纯化、复配等技术方面没有突破,在菌株的生产应用方面更为薄弱^[5]。市场上很多微生物产品的有效活菌数达不到国标要求,使用效果不明显。目前市场上已有的微生物菌肥载体颗粒水分较高,施用易出现结块现象,降低了产品的使用效果。菌肥在生产和包装过程中需要无菌环境,对环境的要求比较高,因此生产成本低且容易污染,往往使成批菌肥变成废品;菌肥的保存期短;菌肥中的微生物进入土壤后,与土著菌的竞争能力弱,菌肥持效期短,应用效果不稳定;同时在田间应用时受到农药,化肥和环境因素对微生物的杀伤等条件制约^[6]。因此,应加强微生物肥料的研究及应用,使产品更加多元化,提高其在农业生产中的社会效益和

收稿日期:2019-05-13; 修回日期:2019-06-21

基金项目:省委组织部“微生物肥料关键技术及新产品研发”(LYRC2019-113)资助

作者简介:李琦(1994-),男,内蒙古乌海人,在读硕士。

E-mail:574678144@qq.com

姚拓为通讯作者。E-mail:yaotuo@gsau.edu.cn

经济效益。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是世界上利用最早、栽培最广的一种优质豆科牧草,素有“牧草之王”的美称,被广泛用于饲料添加来促进家畜生长、改善畜产品品质以及提高家畜繁殖性能^[7]。使用溶磷菌和根瘤菌制作的复合生物菌肥能显著增加苜蓿的产量,改善苜蓿的品质,同时菌肥与化肥配施增产效果明显,是实现化肥减量的有效途径^[8]。通过利用 4 株具有固氮、溶磷、分泌生长激素和生防特性的促生菌株和 1 株根瘤菌制作的复合菌株生物菌肥,制作液体,固体和包衣 3 种剂型生物菌肥,并与化肥减量配施,研究不同剂型的 PGPR 菌肥配施对紫花苜蓿生产性能和营养品质的影响,了解不同剂型生物菌肥的使用效果,筛选出最优菌

肥剂型,以期为 PGPR 菌肥的推广应用提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 供试植物

供试陇东苜蓿 (*M. sativa* cv. Longdong) 种子,发芽率 > 80%,由甘肃农业大学草业学院提供。

1.2 供试菌株

供试菌株为甘肃农业大学草业学院草地微生物多样性实验室提供的 PGPR 菌株(表 1)。由实验室前期从不同植物根际分离筛选而出,这些菌株具有较强的固氮、溶磷、生防和分泌生长激素 (IAA) 的能力,不同菌株之间均无拮抗反应。

表 1 供试菌株

Table 1 Tested strains

菌株号	菌株学名	宿主植物	促生特性
426	<i>Ensifer meliloti</i>	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	固氮
124	<i>Ensifer meliloti</i>	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	固氮、分泌 IAA
Lx191	<i>Bacillus pumilus</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	溶磷、分泌 IAA
LHS11	<i>Bacillus subtilis</i>	红三叶 <i>Trifolium pratense</i>	拮抗病原菌、溶磷、分泌 IAA
Gnyt1	<i>Bacillus mycoides</i>	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	固氮、溶磷、分泌 IAA

1.3 菌肥制作

1.3.1 液体菌肥制作 将斜面培养基上的 5 种菌株分别接种于液体 LB 培养基中,置于 28℃,160 r/min 的摇床培养 72 h,测定 $D_{600\text{ nm}}$ 值, $D_{600\text{ nm}}$ 值 > 0.5 后用无菌水调节使 $D_{600\text{ nm}}$ 值一致,制成菌悬液,按体积比 426:124:1x191:LHS11:Gnyt1 = 1:1:1:2:2 接种于 LB 液体培养基中,摇床培养 48 h 后常温保存备用。

1.3.2 固体菌肥制作 (1)载体准备:将过 2 mm 筛的花土和木炭以 1:2 的比例混合,并用腐殖酸调节 pH 至 6.5~7.0,121℃、26 min 间歇灭菌 2 次。灭菌后的载体降至室温后,将该复合载体分装于无菌保鲜袋中,每袋约 500 g,无菌条件下保存备用。

(2)菌肥制作:将 1.3.1 制作好的菌液用已灭菌的量筒量取接种到复合载体上,菌液接种量为载体质量的 20%,接种后在无菌操作下倒入保鲜袋中,将菌液与载体混匀,塑封机封口,使用灭菌针在菌肥四周扎 5~10 个孔。制作好的菌肥置于 28℃ 培养箱培养 15 d,常温下保存备用。

1.3.3 包衣菌肥制作 (1)粘合剂制备:称取 7 g 羧

甲基纤维素钠 (Carboxymethylcellulose sodium, CMC) 溶于 200 mL 温度 70~85℃ 的蒸馏水中,使 CMC 水溶液的浓度为 3.5%,搅拌均匀,121℃、26 min 灭菌,放至室温后,加入 0.2 mL 分散剂吐温-80,无菌保存备用^[9]。

(2)包衣菌肥制作:将 1.3.1 制作好的菌液与粘合剂以 1:1 的比例搅拌均匀,制成种子包衣菌肥。

3 种剂型的菌肥经平板计数均符合《农用微生物菌剂》质量标准 (GB 20287-2006)^[10] 中对复合微生物肥料含菌量的要求。

1.4 试验地概况及测定指标

1.4.1 试验地概况 试验设在甘肃省渭源县会川镇 (N 35°2'6", E 104°3'26"),海拔 2 380 m。温带大陆性气候,年均温 5.4℃,最冷月 (1 月) 平均气温 -12℃,最热月 (7 月) 平均气温 15℃,年平均降水量 628 mm,土质为黑土。

1.4.2 试验设计 试验采用田间随机区组设计,共设置 11 个处理,每个处理 3 次重复(表 2)。播种方式为撒播,小区面积 2.5 m × 2.5 m,种子用量 1.5 kg/hm²,

表 2 试验处理

Table 2 Experimental treatments

编号	处理	施肥量/(kg·hm ⁻²)	
		菌肥	化肥
GF	全量固体菌肥	1.5	/
YF	全量液体菌肥	0.5	/
BF	全量包衣菌肥	1.65	/
GF+7/10H	固体菌肥+70%化肥	1.5	18.9
YF+7/10H	液体菌肥+70%化肥	0.5	18.9
BF+7/10H	包衣菌肥+70%化肥	1.65	18.9
GF+1/2H	固体菌肥+50%化肥	1.5	13.5
YF+1/2H	液体菌肥+50%化肥	0.5	13.5
BF+1/2H	包衣菌肥+50%化肥	1.65	13.5
CK	空白(不施肥)	/	/
H	全量化肥	/	27

埂宽 30 cm,行距 25 cm。液体菌肥和固体菌肥用量分别为 0.5、1.5 kg/hm²,包衣菌肥用量为种子质量的 10%,以保证 3 种菌肥含菌量相等。菌肥施用方式为拌种。化肥用量:27 kg/hm²(注:化肥为磷酸二胺 N+P₂O₅+K₂O≥40%)。于 2018 年 4 月 31 日进行播种,播深 1~2 cm,常规田间管理。

1.4.3 测定项目及方法 干草产量:于 2018 年 6 月 28 日刈割,留茬高度 5 cm,每区每处理随机刈割 1 m²,将草样带回实验室于烘箱中 105℃ 杀青 0.5 h,然后在烘箱中 80℃ 下烘至恒重,称重,计算小区的紫花苜蓿干草产量^[6]。

株高:每小区随机选取 5~10 株,测定土壤到枝条的垂直高度^[6]。

营养品质指标:粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)含量由 FOSS 公司公布的 Kjeltec 8000 和 Soxtec 8000 试验手册中的方法进行测定。酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量用 Van Soest 等^[11]的方法测定,并计算相对饲用价值(RFV)^[12]:

$$RFV = DMI \times DDM / 1.29$$

$$DMI(\%BW) = 120 / NDF$$

$$DDM(\%DM) = 88.9 - 0.779ADF$$

式中:DMI 为粗饲料干物质采食量;DDM 为可消化的干物质。

1.5 统计分析

试验数据采用 Excel 2007 进行处理和图表绘制,方差分析采用 SPSS 19.0 统计软件。所有数据以平均

值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对苜蓿生产性能的影响

2.1.1 不同施肥处理对苜蓿株高的影响 紫花苜蓿株高由高至低的处理依次为:GF+7/10H>H>GF+1/2H>BF+1/2H>YF+1/2H>YF+7/10H>BF+7/10H>GF>CK>BF>YF,其中 GF+7/10H 和 GF+1/2H 的株高均显著高于 CK(P<0.05),分别为 47.95 cm 和 41.78 cm,各处理较 CK 处理株高增加 0.82%~30.33%,GF+7/10H 处理株高较 H 处理提高 5.08%(图 1)。

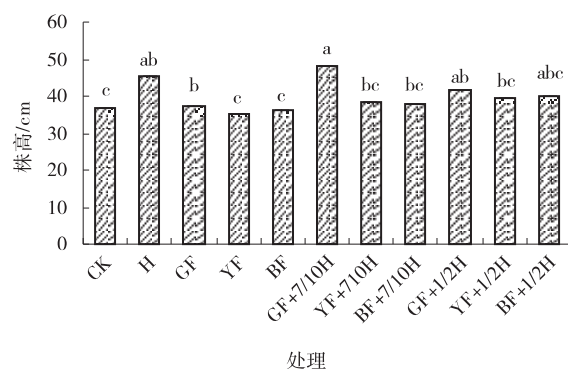


图 1 不同施肥处理下苜蓿的株高

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

注:不同处理间不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

2.1.2 不同施肥处理对苜蓿干草产量的影响 不同施肥处理紫花苜蓿的干草产量由高至低依次为:GF+7/10H>YF+7/10H>H>BF+7/10H>BF+1/2H>BF>YF>GF+1/2H>GF>YF+1/2H>CK,其中 GF+7/10H 与 YF+7/10H 处理干草产量均显著高于 CK(P<0.05),各处理紫花苜蓿干草产量较 CK 处理提高 1.79%~47.78%,GF+7/10H、YF+7/10H 处理分别是 H 处理干草产量的 1.11、1.06 倍(图 2)。表明不同剂型与化肥配施对紫花苜蓿有显著增产效果,GF+7/10H 最好,YF+7/10H 次之。

2.2 不同施肥处理对苜蓿营养指标的影响

2.2.1 对苜蓿粗蛋白含量的影响 不同施肥处理紫花苜蓿的粗蛋白含量由高至低依次为:GF+7/10H>YF+7/10H>BF>BF+7/10H>YF+1/2H>GF>BF+1/2H>CK>GF+1/2H>YF>H,GF+7/10H 与 YF+7/10H 处理紫花苜蓿粗蛋白含量均显著高于

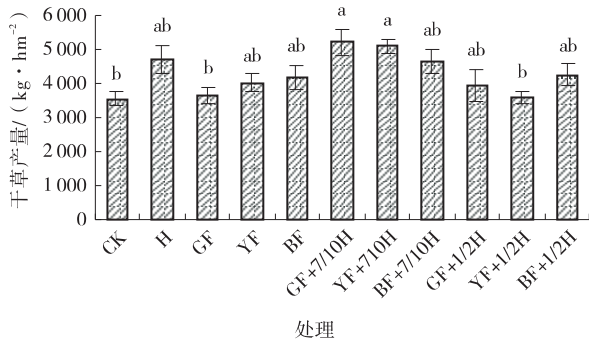


图 2 不同施肥处理下苜蓿的干草产量

Fig. 2 Effect of different fertilization treatments on alfalfa hay yield

CK($P < 0.05$), 较 CK 处理分别增加 9.60%、6.49%, 各处理(除 YF 外)紫花苜蓿粗蛋白含量均显著高于 H 处理($P > 0.05$)(图 3)。

2.2.2 对苜蓿 ADF, NDF 和 RFV 的影响 不同施肥处理紫花苜蓿相对饲用价值由高至低依次为: GF+7/10H > YF+7/10H > BF+1/2H > GF+1/2H > BF > YF+1/2H > BF+7/10H > H > CK > GF >

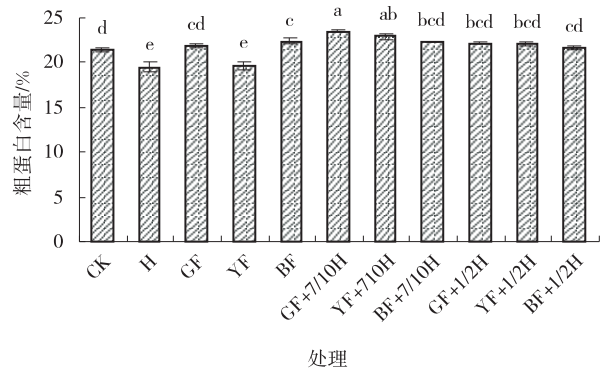


图 3 不同施肥处理下苜蓿的粗蛋白

Fig. 3 Effect of different fertilization treatments on crude protein content

YF, BF 处理的 ADF 最低, 与 CK、H 处理无显著差异, GF+7/10H 处理 NDF 最低, 显著低于 CK、H 处理($P < 0.05$), GF+7/10H 处理 RFV 最高, 达到 125.87, 显著高于 CK 和 H 处理($P < 0.05$), ADF 和 NDF 分别较 H 处理降低了 9.55%、10.52%, 菌肥+70% 化肥处理和菌肥+50% 化肥处理 RFV 均高于 CK、H 处理(表 3)。

表 3 不同处理紫花苜蓿的相对饲用价值

Table 3 Relative feeding value of alfalfa under different fertilization treatments

处理	ADF	NDF	DDM	DMI	RFV
GF	37.59 ± 2.43 ^{ab}	54.93 ± 2.79 ^{ab}	59.62 ± 1.89 ^{bc}	2.2 ± 0.12 ^{bc}	101.25 ± 5.75 ^{cd}
YF	39.55 ± 0.44 ^a	55.52 ± 1.14 ^a	58.09 ± 0.34 ^c	2.16 ± 0.05 ^c	97.42 ± 3.99 ^d
BF	31.22 ± 2.14 ^c	52.69 ± 0.75 ^{ab}	64.58 ± 1.66 ^a	2.28 ± 0.03 ^{bc}	113.97 ± 2.31 ^b
GF+7/10H	32.49 ± 1.7 ^{bc}	47.1 ± 1.45 ^c	63.59 ± 1.33 ^{ab}	2.55 ± 0.08 ^a	125.87 ± 8.85 ^a
YF+7/10H	33.55 ± 1.52 ^{bc}	50.35 ± 0.79 ^{bc}	62.76 ± 1.18 ^{ab}	2.38 ± 0.04 ^{ab}	116.09 ± 6.94 ^b
BF+7/10H	36.48 ± 1.83 ^{abc}	51.19 ± 1.41 ^{abc}	60.48 ± 1.42 ^{abc}	2.35 ± 0.07 ^{bc}	109.93 ± 1.9 ^{bc}
GF+1/2H	34.42 ± 2.39 ^{abc}	50.69 ± 0.71 ^{bc}	62.09 ± 1.86 ^{abc}	2.37 ± 0.03 ^{abc}	113.99 ± 6.9 ^b
YF+1/2H	36.87 ± 0.52 ^{ab}	52.83 ± 1.37 ^{ab}	60.17 ± 0.41 ^{bc}	2.27 ± 0.06 ^{bc}	110.1 ± 5.04 ^{bc}
BF+1/2H	34.22 ± 0.43 ^{bc}	50.28 ± 1.81 ^{bc}	62.25 ± 0.33 ^{ab}	2.39 ± 0.09 ^{ab}	115.49 ± 7.63 ^b
CK	35.08 ± 0.14 ^{abc}	53.41 ± 0.62 ^{ab}	61.57 ± 0.11 ^{abc}	2.25 ± 0.03 ^{bc}	107.26 ± 2.35 ^{bcd}
H	35.92 ± 1.33 ^{abc}	52.64 ± 0.72 ^{ab}	60.92 ± 1.03 ^{abc}	2.28 ± 0.03 ^{bc}	107.73 ± 5.49 ^{bcd}

3 讨论

苜蓿是我国优质的绿色饲料作物, 是解决我国蛋白质饲料匮乏问题的重要来源。试验结果表明, PGPR 与化肥配施能使紫花苜蓿株高和干草产量有较高提升。各处理紫花苜蓿株高较 CK 增加 0.82%~30.33%, 固体菌肥+70% 化肥处理株高较全量化肥处理提高 5.08%, 这与张建贵等^[13]、陈龙等^[14] 研究发现施用微生物菌肥对不同植物(苏丹草、玉米、小麦)可显著提高其株高的研究结果一致。当化肥减量 30% 时, 与微生物菌肥配施能不降低紫花苜蓿干草产量, 实现

稳产, 减量化肥与固体、液体菌肥配施后干草产量较全量化肥处理增产 10.82% 和 8.38%, 说明固体、液体菌肥+70% 化肥对紫花苜蓿有一定增产效果, 原因可能是因为 PGPR 菌肥中的根瘤菌与植物共生固氮, 增加植物可利用氮的含量, 具有不同促生能力的促生菌株可以溶解土壤难溶性磷、分泌促进植物生长激素和拮抗土壤病原菌, 进而促进苜蓿的生长, 提高产量。荣良燕等^[15]、武慧娟等^[16] 利用从不同作物中分离筛选出的优良促生菌株制作菌肥, 施用后可显著提升岷山红三叶(*Trifolium pratense* cv. Minshan) 的产量。同时发现, 当化肥减量 50% 时, 与微生物菌肥配施后对紫花

苜蓿无显著增产效果,说明菌肥与50%化肥配施对紫花苜蓿虽有一定促生作用,但不及全量化肥,微生物肥料只能部分替代化学肥料,施用全量菌肥后,对紫花苜蓿的增产效果不及对照,更加证明了此结论,这说明在目前农业生产水平下,微生物肥料与化肥合理配施对紫花苜蓿有显著增产效果。

近年来,人们对饲用牧草的认识由量变转到质变,但单一的蛋白总量指标不足以说明牧草营养的有效性,因此,建立了饲草营养价值的评定标准,对纤维成分进行了更为细致的划分^[17]。一般而言,饲料中CP含量高,而NDF和ADF含量较低时营养价值较高。相对饲用价值(RFV)是对NDF与ADF的综合反映,是饲料质量的评定指数,其数值越高,说明牧草的营养价值越高^[12]。荣良燕等^[15]利用根瘤菌和促生菌研制的复合微生物肥料进行盆栽肥效试验,菌肥+75%化肥处理增加了岷山红三叶粗蛋白、粗灰分、钙、磷含量,降低了中、酸性洗涤纤维含量。韩华雯等^[8]对苜蓿专用菌肥进行田间肥效试验结果表明,菌肥处理与半量磷肥配施后,粗蛋白、粗脂肪、Ca、P含量较对照提高16.4%、4.2%、14.1%、11.9%,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量下降10.9%和7.7%。李昌宁等^[18]报道5种促生菌株对紫花苜蓿的促生效果表明,菌株均能够促进苜蓿生长,改善苜蓿品质,粗蛋白、粗脂肪含量分别增加了6.0%~20.1%、3.8%~12.7%,菌株*Bacillus mycoides* Gnytl^[19]促生效果最佳。陈龙等^[20]利用微生物肥料替代部分化学肥料研究其对玉米生长及品质的影响表明,菌肥+85%化肥处理使玉米的粗蛋白和可溶性糖含量增加10.2%和73.5%,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量显著下降,与当地最佳施肥水平无显著差异,促生效果显著。试验表明,固体菌肥+70%化肥处理紫花苜蓿的CP含量最高,同时此处理的下的紫花苜蓿的酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量显著下降,相对饲用价值为125.87%,显著高于其他处理。说明施用PGPR菌肥对紫花苜蓿有提高其营养品质的作用,原因可能是菌肥中所含的有益根际微生物具有固氮、分泌植物激素、溶解土壤中的不可利用磷和分泌抗生素等作用,能够不同程度地刺激和调节植物生长,使植物营养状况得到改善,进而达到提高营养品质的效果。试验发现,单施菌肥对苜蓿生长和营养品质促生效果与对照相比无显著差异,这与韩华雯等^[8]的研究结果一致。原因可能是单施菌肥

后,菌肥中的菌株被释放出来,与土壤原生土著菌株产生竞争,抑制了植物的生长。

国内外的研究报道,微生物菌肥在田间的应用效果存在着很大差异,不仅与施用区物候特点、宿主植物、土壤养分含量有关,还受到菌种来源、菌种组合、菌剂剂型、载体基质及菌肥施用量的影响,因此,如何加强菌肥使用效果还需要进一步的深入研究。包衣剂是一种用于作物或其他植物种子处理的具有成膜特性的新型农药制剂^[21-22]。目前尚未见到PGPR菌剂包衣剂的应用,这也是此次试验的创新之处。试验中包衣剂的使用效果虽不及固体菌肥,但较CK处理紫花苜蓿的产量和营养品质均有较大提升,为PGPR菌剂包衣剂的运用提供了一定的理论支撑,今后应加强对包衣剂助剂的研究,以提升包衣剂使用效果。

4 结论

固体菌肥+70%化肥配施可提高紫花苜蓿的生长、增加草产量,改善营养品质,还可以提高相对饲用价值,降低酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量,液体菌肥+70%化肥配施促生效果次之。

参考文献:

- [1] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [2] 韩文星,姚拓,梁启鹏,等.PGPR菌肥对燕麦根系性状影响的研究[J].草原与草坪,2008(4):1-4.
- [3] 郭永利.微生物肥料的研究进展及应用现状[J].陕西农业科学,2012,58(4):134-136+147.
- [4] 龚韩斌,刘君昂,何雪香,等.植物根际微生物剂型及其应用研究进展[J].防护林科技,2009(3):57-60
- [5] 刘军辉,李利.我国微生物肥的应用研究进展[J].河北果树,2018(5):5-6.
- [6] 许景钢,孙涛,李嵩.我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J].作物杂志,2016(1):1-6.
- [7] 黄炜,文亦芾.紫花苜蓿研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2018(13):42-44.
- [8] 韩华雯,孙丽娜,姚拓,等.不同促生菌株组合对紫花苜蓿产量和品质的影响[J].草业学报,2013,22(5):104-112.
- [9] 张燕慧.紫花苜蓿(*Medicago sativa*)新型种衣剂的研制[D].兰州:兰州大学,2007.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.农用微生物菌剂 GB 20287-2006[S].北京:中国标准出版社,2006.

- [11] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch Polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74: 3583–3597.
- [12] 于铁峰, 刘晓静, 郝凤, 等. NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 配比对紫花苜蓿营养品质及饲用价值的影响研究[J]. *草业学报*, 2016, 25(12): 102–110.
- [13] 张建贵, 韩华雯, 姚拓, 等. 不同载体研制的微生物接种剂对苏丹草生长和品质及土壤微生物数量影响[J]. *草原与草坪*, 2018, 38(6): 55–62.
- [14] 陈龙. 菌肥对粮饲兼用型玉米生长和品质及土壤特性影响研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [15] 荣良燕, 姚拓, 马文彬, 等. 岷山红三叶根际优良促生菌对其宿主生长和品质的影响[J]. *草业学报*, 2014, 23(5): 231–240.
- [16] 武慧娟, 张榕, 李智燕, 等. 复合菌肥对岷山红三叶生产性能和营养品质的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(9): 2183–2191.
- [17] 张昆, 渠晖, 薛峥, 等. 施氮水平对季节性栽培紫花苜蓿饲草干物质产量和品质的影响[J]. *草地学报*, 2015, 23(4): 844–849.
- [18] 李昌宁, 李政璇, 曹全熙, 等. 5株植物根际促生菌对紫花苜蓿生长和品质的影响[J]. *草原与草坪*, 2018, 38(3): 29–34.
- [19] 杨晓玫, 李建宏, 姚拓, 等. 植物根际促生菌 *Bacillus mycoides* Gnyt1 铁载体分泌相关功能基因的挖掘[J]. *微生物学报*, 2019, 59(5): 871–880.
- [20] 陈龙, 姚拓, 柴强, 等. 微生物肥料替代部分化学肥料对玉米生长及品质的影响[J]. *草原与草坪*, 2016, 36(1): 20–25+30.
- [21] 孙杨. 苜蓿新型种衣剂的评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.

Effects of three forms of growth-promoting bacterial fertilizer and chemical fertilizer reduction on the growth and quality of alfalfa

LI Qi, FENG Ying, ZHANG Jian-gui, YANG Xiao-mei, YAO Tuo

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

Abstract: By using 5 growth-promoting strains previously isolated from plant rhizosphere, a rhizosphere fertilizer formula for alfalfa was developed. And then, the bacterial fertilizer was prepared with 3 forms (solid, GF; liquid, YF; seed coating, BF). A field randomized block experiment was designed with 11 treatments (GF, YF, BF, GF+7/10H, YF+7/10H, BF+7/10H, GF+1/2H, YF+1/2H, BF+1/2H, CK and H), including 3 forms of bacterial fertilizer and reduced chemical fertilizer (7/10H, 1/2H, H), to determine the effects on the growth and quality of alfalfa. Results showed that compared with the control (CK, no fertilizer), GF+7/10H treatment significantly improved the performance of alfalfa production. The plant height was 47.95 cm; The alfalfa hay yield was increased by 47.78%, which was 1.11 times of the full amount of chemical fertilizer treatment; The alfalfa nutritional quality was significantly improved; The relative forage value was 125.87, significantly higher than other treatments. Compared with full amount of chemical fertilizer treatment, the bacterial fertilizer could replace 30% of chemical fertilizer without significant difference in alfalfa production performance and nutritional quality.

Key words: alfalfa; dosage form; microbial fertilizer; production performance; nutritional quality