

接种高效根瘤菌对紫花苜蓿—禾本科混播组合生产性能的影响

曾昭海^{1,2}, 胡跃高¹, 陈文新², 隋新华², 陈丹明²

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院草业工程研究中心, 北京 100094;

2. 中国农业大学生物学院 农业部农业微生物资源及其应用重点实验室, 北京 100094)

摘 要: 利用筛选的高效根瘤菌接种紫花苜蓿, 分别与高羊茅、无芒雀麦及 1 年生黑麦草混播。与对照相比, 接种高效根瘤菌后, 紫花苜蓿—高羊茅混播组合中苜蓿干草增产 17.0%, 高羊茅增产 15.1%, 总计增产 16.3%; 紫花苜蓿—无芒雀麦混播组合中紫花苜蓿增产 14.0%, 无芒雀麦增产 51%, 总生物量增产 20.5%; 紫花苜蓿—1 年生黑麦草混播组合中, 紫花苜蓿增产 7.6%, 1 年生黑麦草干草产量比对照增产 4.8%, 总生物量增产 6.8%。从 LER(Land equivalent ratio)和 CR(Competitive ratio)变化看, 接种高效根瘤菌有利于提高 LER 值和禾本科作物的 CR 值。

关键词: 高效根瘤菌; 紫花苜蓿; 混播; 禾本科牧草
中图分类号: S144.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0055-05

与禾本科单播相比, 豆科牧草与禾本科牧草混播可以提高禾本科牧草的产量和蛋白质含量。豆科牧草通过固定空气中的氮素来为自身及伴生的禾本科草提供氮素营养。国内外研究结果表明, 豆科作物从空气中固定氮素转移到伴生禾本科草中比例大约在 0~80% 间变动^[1]。同时豆科牧草与禾本科牧草混播有利于提供营养均衡的饲草饲料^[2]。本研究利用筛选苜蓿高效根瘤菌 (*Sinorhizobium meliloti*) 接种紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.), 分别与高羊茅 (*F. arundinacea* Schreb.)、无芒雀麦 (*Bromus inermis* Leyss.) 及 1 年生黑麦草 (*L. multiflorum* Lam.) 组成混播草地, 研究接种高效苜蓿根瘤菌对紫花苜蓿及 3 种禾本科牧草生产性能的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国农业大学吴桥试验站, 属黑龙江流域中部。平均海拔 14 m, 地下水位 6~9 m, 1995~2001 年平均降水量为 509.6 mm, 2002 年前 10 个月的总降水量为 248.1 mm。供试土壤为壤质底粘潮土, 地面平坦, 土层深厚。耕层土壤有机质含量为 0.88%, 全氮为 0.058%, 碱解氮为 22.5 mg/kg, 有效磷为 17.1 mg/kg, 速效钾 81.6 mg/kg。

1.2 品种及其来源

根据近年在黄淮海平原品种比较试验结果、推

广应用现状与前景, 选择 Vector 苜蓿品种, 该品种由加拿大北极星公司引进。

1.3 播种技术与管理

本试验于 2002 年 4 月~2002 年 10 月进行。紫花苜蓿品种为 Vector, 播量为 15 kg/hm², 高羊茅、无芒雀麦及一年生黑麦草播种量分别为 30、30 和 22.5 kg/hm², 播前灌足底墒水 (750 m³/hm²)。条播, 行距为 30 cm, 紫花苜蓿播深为 1~2.5 cm, 高羊茅与无芒雀麦的播深为 3~4 cm, 1 年生黑麦草播深为 1~2 cm。紫花苜蓿与各禾本科牧草实行间行播种, 即播种 1 行苜蓿后再播种 1 行高羊茅, 行间距为 15 cm。

1.4 根瘤菌及培养

1.4.1 菌株及来源 试验用 CCB AU 30138 菌株, 来源于河北省, 是在温室条件下, 针对吴桥的土壤和 Vector 苜蓿品种筛选的高效菌株, 该菌株在所有供选择的 19 株菌株中, 提高苜蓿的产量最高。

1.4.2 根瘤菌培养 在 YMA 培养基中对该菌进行培养, 并于 2002 年 4 月 28 日进行田间接种。

1.5 接种方法

将土壤开沟后, 播种并将菌剂施于种子周围 (每粒种子的接菌量不少于 1×10⁹ 个菌), 立即覆土、镇压。

1.6 测定项目及内容

1.6.1 根瘤菌数 每次收获时在每一小区随机取

收稿日期: 2006-04-21
基金项目: 国家自然科学基金项目 (30400310); 国家重点基础研究发展规划“973”资助项目 (2001CB108905)
作者简介: 曾昭海 (1971—), 男, 河南光山人, 博士, 主要从事牧草及根瘤菌应用研究。

10 株苜蓿,挖土深度为 30 cm,用水仔细冲洗后计算根瘤菌数。

1.6.2 干草产量 分别在紫花苜蓿初花期、高羊茅孕穗期选取生长均匀一致的 20 cm 行长进行收获测产,并在 70℃烘箱中烘干 48 h,计算干草产量。

2 结果与分析

2.1 接种高效根瘤菌对不同混播处理中紫花苜蓿根瘤数的影响

接种高效根瘤菌有利于促进苜蓿早结瘤、多结瘤。从试验结果可以看出,紫花苜蓿—高羊茅混播处理中,第一茬收获时,接种根瘤菌后,紫花苜蓿单株根瘤数显著高于对照(未接种),第二茬与第三茬间差异不显著;紫花苜蓿—无芒雀麦混播组合中,第

二次收获与第三次收获时,接种高效根瘤菌可以显著提高紫花苜蓿单株根瘤菌数,第一次收获时,相互间差异不明显;紫花苜蓿—1 年生黑麦草混播组合中,第二次收获时,接种根瘤菌的苜蓿单株根瘤菌数显著高于对照,第一次和第三次收获时,相互间差异不显著(见表 1)。从不同混播组合结果看,接种根瘤菌后,第一次收获时,紫花苜蓿—高羊茅混播组合苜蓿单株根瘤菌数显著高于紫花苜蓿—无芒雀麦和紫花苜蓿—1 年生黑麦草混播组合,后两种混播组合相互间不存在差异;第二次收获时,紫花苜蓿—1 年生黑麦草混播组合的单株根瘤数 14.53 个,显著高于紫花苜蓿—高羊茅的混播组合,但与紫花苜蓿—无芒雀麦混播组合间差异不显著;第三次收获时,三种组合间差异不显著(见表 2)。

表 1 接种高效根瘤菌对不同混播处理根瘤菌数的影响
Table 1 The effect of inoculating CCBAU 30138 strain on number of nodules of single alfalfa plant in different mixtures

混播类型 Mixed planting type	处理 Treatment	第一茬 First cut	第二茬 Second cut	第三茬 Third cut
紫花苜蓿—高羊茅 Alfalfa/tall fescue mixture	CCBAU 30138	17.13 _a	10.13 _a	16.30 _a
	对照 CK	12.00 _b	9.50 _a	14.23 _a
	LSD(0.05)	2.39	2.55	2.34
紫花苜蓿—无芒雀麦 Alfalfa /bromegrass mixture	CCBAU 30138	9.87 _a	13.45 _a	17.43 _a
	对照 CK	8.93 _a	9.57 _b	13.47 _b
	LSD(0.05)	1.83	1.33	2.52
紫花苜蓿—1 年生黑麦草 Alfalfa/ryegrass mixture	CCBAU 30138	9.47 _a	14.53 _a	15.57 _a
	对照 CK	9.33 _a	9.97 _b	14.23 _a
	LSD(0.05)	5.52	1.47	1.49

注:字母相同表明差异不显著。Note: The same letters mean no significant difference ($P=0.05$).

表 2 不同混播处理不同收获时期紫花苜蓿根瘤菌数
Table 2 The number of nodules of single alfalfa plant in different alfalfa/grass binary mixtures

混播处理 Mixed planting type	第一茬 First cut	第二茬 Second cut	第三茬 Third cut
苜蓿—高羊茅 Alfalfa/tall fescue mixture	17.13 a	10.13 b	16.33 a
紫花苜蓿—无芒雀麦 Alfalfa/bromegrass mixture	9.87 b	13.47 a	17.13 a
紫花苜蓿—1 年生黑麦草 Alfalfa/ryegrass mixture	9.47 b	14.53 a	15.57 a
LSD (0.05)	1.8386	1.0976	2.8173

注:字母相同表明差异不显著。Note: The same letters mean no significant difference($P=0.05$).

2.2 接种对紫花苜蓿—禾本科混播组合干草产量的影响

紫花苜蓿接种根瘤菌后再分别与高羊茅、无芒雀麦及 1 年生黑麦草混播。与对照相比,紫花苜蓿—高羊茅混播组合中,苜蓿干草第一茬、第二茬和第三茬增产的比例分别是 44.1%、5.1%和 9.6%,全

年增产 17.0%;高羊茅总计收获了两茬,第一茬、第二茬干草产量分别比对照增产 21.0%和 2.75%,全年增产 15.1%。从全年生物量看,接种根瘤菌后,全年总产增产了 16.3%;紫花苜蓿—无芒雀麦混播组合中量,对苜蓿而言,接种根瘤菌后,第一茬、第二茬和第三茬干草产量分别比对照增加 11.2%、17%

和 12.3%, 全年增产 14.0%; 无芒雀麦增产 51%, 总生物量增加 20.5%; 从干草产量看, 接种根瘤菌后, 紫花苜蓿—1 年生黑麦草混播处理中, 紫花苜蓿第一、第二及第三茬干草产量分别比对照增加

6.1%、15.6% 和 1.1%, 总产增产 7.6%; 1 年生黑麦草干草产量比对照增产 4.8%, 全年总生物量增加 6.8%(见表 3)。

表 3 不同混播处理中紫花苜蓿和禾本科牧草在不同收获时期的干草产量

Table 3 Dry matter yields of alfalfa and grass components in grass/alfalfa binary mixtures inoculated with CCBAU 30138 strain									
混播类型 Mixed planting type	处理 Treatment	紫花苜蓿 Alfalfa(kg/hm ²)				禾本科牧草 Grass(kg/hm ²)			全年生物量 (kg/hm ²) Total
		第一茬 First cut	第二茬 Second cut	第三茬 Third cut	总产 Total yield	第一茬 First cut	第二茬 Second cut	总产 Total yield	
紫花苜蓿—高羊茅 Alfalfa/tall fescue mixture	对照 CK	1953.6 _b	2615 _a	2907.2 _b	7475.8	2920 _b	1397.2 _a	4317.2	11793
	CCBAU 30138	2815 _a	2748.3 _a	3186.7 _a	8750	3532.7 _a	1435.6 _a	4968.3	13718.3
	LSD(0.05)	173.95	144.86	223.1	—	198.01	206.7	—	—
紫花苜蓿— 无芒雀麦 Alfalfa / bromegrass mixture	对照 CK	1814.5 _a	3472.2 _b	3075.5 _b	8362.2	1775	—	1775	10137.2
	CCBAU 30138	2017.2 _a	4062.8 _a	3454.97 _a	9534.97	2676.7	—	2676.7	12211.7
	LSD(0.05)	292.1	442.3	208.01	—	—	—	—	—
紫花苜蓿—1 年 生黑麦草 Alfalfa/ryegrass mixture	对照 CK	1460.6 _a	2976.7 _b	3355.0 _a	7792.3	3166.7	—	3166.7	10959.0
	CCBAU 30138	1549.4 _a	3442.2 _a	3392.2 _a	8383.8	3320	—	3320	11703.8
	LSD(0.05)	481.36	367.88	322.4	—	—	—	—	—

注:字母相同表明差异不显著。Note: The same letters mean no significant difference ($P=0.05$)

2.3 接种根瘤菌对 LER 和 CR 的影响

评定混播组合好坏的两个重要指标分别为 LER(Land equivalent ratio) 和 CR (Competitive ratio)(T· C· Ta et al., 1987)。其计算公式分别为: LER=混播时产量/单播时产量,CR=(第一种作物混播时产量/第一种作物单播时产量)/(第二种作物混播时产量/第二种作物单播时产量)。本试验在接种根瘤菌和不接种根瘤菌情况下,分别研究紫花苜蓿—高羊茅、紫花苜蓿—无芒雀麦及紫花苜蓿—1

年生黑麦草混播情况下的干草产量变化状况。其中,在各混播组合中,第一种作物均指紫花苜蓿,第二种作物分别代表各混播处理中的禾本科牧草;在进行计算时,分别利用接种高效根瘤菌的产量结果(接种/接种)和接种高效根瘤菌的产量结果与对照的产量结果(接种/对照)计算不同处理的 LER 和 CR。根据试验结果(见表 4),可以计算出不同混播组合中各种作物的 LER 和 CR(见表 5)。

表 4 各种作物单播时干草产量

Table 4 Yield results of alfalfa and grasses in monoculture				
项目 Item	紫花苜蓿 Alfalfa	高羊茅 Tall fescue	无芒雀麦 Bromegrass	一年生黑麦草 Ryegrass
产量(kg/hm ²) Yield	对照 CK 接种 Inoculated	11932.5 8185.0	7900.0	6211.1

上述结果表明,接种根瘤菌后,紫花苜蓿—高羊茅、紫花苜蓿—无芒雀麦混播组合的土地当量值明显高于对照,说明接种高效根瘤菌一方面可以增加干草产量,另一方面能提高土地当量值。从各种禾本科草竞争比也可以看出,在上述 3 种混播组合中,接种高效根瘤菌有利于提高各禾本科草的竞争比(见表 5)。一方面,可能是由于紫花苜蓿本身固定的氮素增加,直接为禾本科牧草提供更多的氮素。另一方面,可能由于紫花苜蓿减少了对土壤氮素的

利用,从而降低了与禾本科作物间对氮素营养的竞争(Laura S Brophy et al,1987)。

本试验所采用的播种比例为 1:1,从 CR 值可以看出,各混播组合中,禾本科牧草的 CR 值均小于 1,说明在上述播种比例情况下,紫花苜蓿的竞争能力要高于各禾本科草。豆科牧草与禾本科牧草不同的混播比例,CR 值间存在差异,紫花苜蓿与禾本科牧草混播时如何确定合适的 CR 值宜作进一步研究。

表 5 不同混播组合中禾本科草 LER 和 CR
Table 5 The LER and CR of grasses in different mixtures

混播类型 Mixed planting type		紫花苜蓿—高羊茅 Alfalfa / tall fescue mixture	紫花苜蓿—无芒雀麦 Alfalfa / bromegrass mixture	紫花苜蓿—1 年生黑麦草 Alfalfa / ryegrass mixture
LER	对照 CK	1.12	0.93	1.16
	接种/接种 Inoculated/inoculated	1.25	1.04	1.16
	接种/对照 Inoculated/CK	1.34	1.41	1.24
	对照 CK	0.84	0.32	0.78
CR	接种/接种 Inoculated/inoculated	0.96	0.47	0.86
	接种/对照 Inoculated/CK	0.83	0.41	0.76

从各混播组合的干物质产量看,除接种根瘤菌后,紫花苜蓿—高羊茅混播组合干草产量略高于紫花苜蓿单播干草产量外,其它各组合干草产量均低于紫花苜蓿单播时干草产量,上述研究结果与 Byron Sleugh^[4]研究结果相同。对于混播组合中氮素的转移与利用,宜作进一步研究。

3 讨 论

世界范围内,豆科作物与禾本科作物混播都比禾本科作物单播优越,因为它经常能提高饲草的蛋白质含量和干草产量^[2]。利用禾本科牧草与豆科牧草混播的主要原因是禾本科牧草可以利用豆科作物固定的氮素。放牧草地生产中,N 素通常是限制草地生产的主要因素,采用豆科—禾本科混播有利于提高干草产量^[3]。H. A. Burity (1989)分别利用紫花苜蓿与无芒雀麦和猫尾草混播,研究固定氮素的转移状况,结果表明,禾本科作物生长的第一、第二和第三年所需的氮素中,紫花苜蓿通过生物固氮所提供的氮素分别占 26%、46%和 38%。有关本试验中,紫花苜蓿与高羊茅、无芒雀麦及 1 年生黑麦草混播组合中氮素转移利用问题宜作进一步研究。

4 结 论

1) 各混播组合中,接种根瘤菌后,紫花苜蓿在各个收获时期的单株根瘤数也明显高于对照,其中

高羊茅—紫花苜蓿混播组合中紫花苜蓿第一茬、无芒雀麦—紫花苜蓿混播组合中紫花苜蓿第二和第三茬、1 年生黑麦草—紫花苜蓿混播组合中紫花苜蓿第二茬单株根瘤数与对照相比达到显著水平。

2) 接种根瘤菌后,各混播组合总干草产量均高于对照,其中高羊茅—紫花苜蓿苜蓿混播组合全年干草产量为 13 718.3 kg/hm²,比对照提高 16.3%;无芒雀麦—紫花苜蓿混播组合全年干草产量为 12 211.7 kg/hm²,比对照提高 20.5%;1 年生黑麦草—紫花苜蓿干草产量为 11 703.8 kg/hm²,比对照提高 6.8%。

参 考 文 献:

[1] Berdahl J D, Karn J F, Hendrickson J R. Dry matter yield of cool-season grass monocultures and grass-alfalfa binary mitures. Agron. J., 2001, 93: 463—467.

[2] Zemenchik R A, Albrecht K A, Shaver R D. Improved nutritive value of kura clover and birdsfoot trefoil grass mixtures compared with grass monocultures. Agron J, 2002, 94: 1131—1138.

[3] Ta T C, Faris M A. Species variation in the fixation and transfer of nitrogen from legumes to associated grasses. Plant and Soil, 1987, 98: 265—274.

[4] Thomas R J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. Grass and Forage Science. 1992, 47: 133—142.

[5] Byron Sleugh, Moore K J, George J R, et al. Binary legume-grass mixtures improve forage yield, quality, and seasonal distribution. Agron J, 2000, 92: 24—29.

(英文摘要下转第 67 页)

土壤肥料, 1985, 5: 22—27.

[8] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[9] 吕家珑, 张一平, 王旭东. 农田生态对土壤肥力的保护效应. 生态学报, 2001, 21(4): 613—616.

[10] 马成泽. 肥料配合施用对农田生产力和土壤有机质平衡的影响[A]. 国际平衡施肥学术讨论会论文集[C]. 北京: 农业出版社, 1989. 446—451.

[11] В А ВаcИлбев. 集约农业和工业化畜牧业条件下有机肥料的使用[J]. 土壤学进展, 1984, (5): 28—35.

[12] 高 瑞, 吕家珑, 翟义欣, 等. 长期不同施肥土壤的微生物生物量及其活性[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(增): 104—107.

Effect of long term fertilization on fertility of Lou soil and crop yield

GAO Rui^{1,2}, LU Jia-Long², ZHANG Su-xia²

(1. Department of Garden Engineering, Heze University, Heze, Shandong 274000, China;

2. College of Resource and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the continuous fertilization experiment for 25 years at the same site on Lou soil in central Shannxi, this paper analyzed the difference of fertility in different plots. The results showed that long-term fertilization increased soil O·M·, total N, total P, available N, available P and corn yield evidently. Applying inorganic fertilizer or inorganic fertilizer combined with organic manure could raise soil nutrient capacity and supply intensity, and it was beneficial to meliorate soil and raise crop yield, in which the effect of inorganic fertilizer combined with organic manure was most remarkable.

Keywords: long-term fertilization; soil fertility; yield

(上接第 58 页)

Effect of inoculating highly effective Sinorhizobium meliloti on productivity of gramineous grass/alfalfa mixtures

ZENG Zhao-hai^{1,2}, HU Yue-gao¹, CHEN Wen-xin², SUI Xin-hua², CHEN Dan-ming²

(1. PERC, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. College of Biology/ Key Laboratory of Agro-Microbial Resource and Application of MOA, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Highly effective Sinorhizobium meliloti was inoculated to alfalfa (*Medicago sativa* L.) which was planted with tall fescue (*F. arundinacea* Schreb), smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.) and rye grass (*L. multiflorum* Lam.) to establish gramineous grass/alfalfa mixtures. Compared with the control (uninoculating treatment), in alfalfa/tall fescue mixture, the biomass yield of alfalfa was increased by 17%, that of tall fescue was increased by 15.1%, and the total yield was increased by 16.3%; in alfalfa/smooth brome grass mixture, the biomass yield of alfalfa was increased by 14.0%, that of smooth brome grass was increased by 51.0%, and the total yield was increased by 20.5%; in alfalfa/ryegrass mixture, the biomass yield of alfalfa was increased by 7.6%, that of ryegrass was increased by 4.8%, and the total biomass yield was increased by 6.8%. The results indicated that inoculating highly effective Sinorhizobium meliloti could increase the LER (Land equivalent ratio) and the CR(Competitive ratio) of grass crops.

Keywords: highly effective Sinorhizobium meliloti; alfalfa; mixed planting; gramineous grass