

网络出版时间:2018-11-06 16:58

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.05.015

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20181106.1657.030.html

不同肥料与 AM 真菌配施对 沙打旺品质的影响

段媛君,王百田

(北京林业大学 水土保持学院,北京 100083)

【摘 要】 【目的】研究不同肥料与 AM 真菌配施对沙打旺品质的影响。【方法】以沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall.)牧草为宿主植物,选用摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)作为 AM 真菌,并选用尿素、碳酸氢铵作为氮肥,磷酸一铵、过磷酸钙作为磷肥,氯化钾、硫酸钾作为钾肥,在施用以上肥料的基础上,分别设计接种 AM 真菌和不接种 AM 真菌 2 种处理,待植物生长 6 个月后,采集新鲜植株,测定全株的粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维含量;之后利用灰色关联度分析方法,对不同处理沙打旺的以上 6 种营养指标进行综合分析,从中筛选出对牧草品质影响显著的 AM 真菌与肥料类型组合。【结果】施用尿素、碳酸氢铵、磷酸一铵、过磷酸钙、氯化钾和硫酸钾时,接种 AM 真菌对沙打旺粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维含量的影响有差异,其中粗蛋白、粗脂肪含量均以 AM 真菌与硫酸钾配施处理最高,分别为 4.720、0.900 g/kg;灰分、钙含量以单施磷酸一铵处理最高,分别为 10.060 g/kg 和 7 984 mg/kg;磷含量以 AM 真菌与碳酸氢铵配施处理最高,为 861.9 mg/kg;粗纤维含量以单施氯化钾处理最高,为 6.815%。灰色关联度分析结果显示,不同处理关联度由高到低的顺序为硫酸钾与 AM 真菌配施处理>单施磷酸一铵处理>单施过磷酸钙处理>过磷酸钙与 AM 真菌配施处理>碳酸氢铵与 AM 真菌配施处理>单施氯化钾处理>单施尿素处理>尿素与 AM 真菌配施处理>氯化钾与 AM 真菌配施处理>磷酸一铵与 AM 真菌配施处理>单施碳酸氢铵处理>单施硫酸钾处理,可知硫酸钾与 AM 真菌配施处理沙打旺的品质最好,单施硫酸钾的最差;磷酸一铵、过磷酸钙分别与 AM 真菌配施处理沙打旺品质均低于单施磷酸一铵、过磷酸钙处理,说明 AM 真菌抑制了 2 种磷肥的肥效。【结论】不同类型肥料与 AM 真菌配施对沙打旺牧草品质影响存在促生效应、抑制效应或中性效应,其中硫酸钾与 AM 真菌配施对改善沙打旺牧草品质具有良好的协同作用。

【关键词】 沙打旺;AM 真菌;施肥;品质

【中图分类号】 S144.1;S541⁺.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)05-0118-07

Effect of different fertilizers and AM fungi on quality of *Astragalus adsurgens* Pall

DUAN Yuanjun, WANG Baitian

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of different fertilizers and AM fungi on plant quality of *Astragalus adsurgens* Pall. were studied. 【Method】 This study used *Astragalus adsurgens* as host plant, *Glomus mosseae* as AM fungi, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ and NH_4HCO_3 as nitrogen fertilizer, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ and $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$ as phosphate fertilizer, as well as KCl and K_2SO_4 as potash fertilizers. Two treatments with and without inoculation of AM fungi were designed. Six months after growth, fresh plants were collected to measure crude protein, crude fat, ash, calcium, phosphorus, and crude fiber contents. The grey correlation analysis method was

【收稿日期】 2018-03-16

【基金项目】 国家科技支撑计划项目(2015BAD07B02)

【作者简介】 段媛君(1995—),女,陕西韩城人,在读硕士,主要从事林业生态工程研究。E-mail:627996686@qq.com

【通信作者】 王百田(1958—),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事林业生态工程研究。E-mail:13910595782@163.com

used to comprehensively analyze the six nutritional indicators of different treatments, and the combination of AM fungi and fertilizer with significant impact was determined. 【Result】 The effects of AM fungi inoculation with $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, NH_4HCO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$, KCl , and K_2SO_4 on contents of crude protein, crude fat, ash, calcium, phosphorus and crude fiber in forage grasses were different. The highest contents of crude fiber and crude protein were 4.720 and 0.900 g/kg with the combination of AM fungi and K_2SO_4 . The highest ash and calcium contents were 10.060 g/kg and 7.984 mg/kg with $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. The highest phosphorus content was 861.9 mg/kg with AM fungi and NH_4HCO_3 , and the highest fiber content was 6.815% with single KCl treatment. Grey correlation analysis showed that the correlation was in the order of combined application of K_2SO_4 and AM fungi treatment > single application of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ treatment > single application of $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$ treatment > combined application of $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$ and AM fungi treatment > combined application of NH_4HCO_3 and AM fungi treatment > single application of KCl treatment > single application of $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ treatment > combined application of $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ and AM fungi treatment > combined application of KCl and AM fungi > combined application of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ and AM fungi treatment > single application of NH_4HCO_3 treatment > single application of K_2SO_4 treatment. The combination of K_2SO_4 and AM fungi treatment had the best quality of *A. adsurgens*, while single application of K_2SO_4 had the worst. The quality of *A. adsurgens* in applications of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ and $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$ with AM fungi was lower than with $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ and $\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$, indicating that AM fungi inhibited the fertilizer efficiency of phosphate fertilizers. 【Conclusion】 Using different types of fertilizers with AM fungi had promoting, inhibiting or neutral effect on *A. adsurgens*, and K_2SO_4 and AM fungi had synergistic effects on improving *A. adsurgens* quality.

Key words: *Astragalus adsurgens* Pall; AM fungi; fertilization; quality

丛枝菌根 (*Arbuscular mycorrhizal*, AM) 真菌是土壤中重要的微生物类群之一^[1], 广泛分布于土壤生态系统中, 能与绝大多数高等植物形成丛枝菌根^[2]。AM 真菌在与植物形成菌根之后, 可以改变根系形态, 扩大植物根系吸收养分的范围^[3], 促进植物对矿质元素的吸收和利用, 改善植物营养状况, 促进植物代谢^[4], 还可以提高幼苗的成活率^[5]。有研究发现, AM 真菌可以对草本植物个体的生长产生显著影响, 如调节宿主植物对养分和水分的吸收以及循环利用, 改变植株的形态, 继而影响宿主植物的生长发育及繁殖^[6-7]。目前, 关于 AM 真菌对植物生长影响的研究, 大多集中在促进植物生长, 提高植物抗旱性等方面^[8-9], 而有关对植物品质的影响, 特别是在不同肥料条件下 AM 真菌与肥料对植物品质的交互作用报道很少。

牧草的营养成分是畜产品形成的基础, 也是评定牧草营养价值的重要指标之一^[10]。沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 又名直立黄芪^[11], 是牧草、绿肥和水土保持等兼用型豆科 (*Leguminosae*) 草本植物, 具有良好的抗逆性而且产量高, 在黄土高原地区广为种植。沙打旺的营养价值较高, 可直接作青饲料, 其叶片主要含蛋白质和脂肪, 茎则以粗纤维为

主^[12], 通过合理的栽培技术提高其主要营养成分粗蛋白和粗脂肪的含量, 是改善沙打旺饲草品质的重要途径。水肥是沙打旺生长发育所必须的物质, 可影响沙打旺对养分的吸收^[13]。研究发现, 单一的施肥方式不仅成本高, 而且影响植物的光合速率、蒸腾速率等, 导致叶片光合作用下降, 产量和品质降低^[14]。本研究以沙打旺为对象, 分析了 AM 真菌与氮磷钾 3 种肥料配合使用对沙打旺牧草品质的影响, 旨在揭示 AM 真菌与不同肥料配施对牧草品质的提升效应, 筛选出有利于提高沙打旺牧草品质的肥菌组合栽培技术, 为高品质牧草生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

沙打旺种子, 播种前用体积分数 75% 酒精消毒 10 min。AM 真菌为摩西球囊霉 (*G. mosseae*), 由北京市农林科学院植物营养与资源研究所提供, 2016-05-09 至 09-08 以玉米为宿主, 在人工气候箱中进行 4 个月盆栽扩繁, 培养期间定期浇灌 Hoagland 营养液, 取 35 g 含有孢子、菌丝和侵染根段的根际土作为 AM 接种剂, -4 °C 冰箱保存 1 周, 备用。

将北京郊区农田褐土与沙土按 1:2 体积比混匀,过孔径 2 mm 筛,经 120 °C 灭菌,放置 1 周备用。土壤理化性质为:有机质 8.53 g/kg,有效 N 13.2 μg/g,有效 P 2.36 μg/g,pH 7.8,土壤田间持水量 23.72%。

盆栽容器为直径 25 cm、高 15 cm 的塑料花盆,使用前用体积分数 75%酒精消毒 10 min,用 1 g/L KMnO₄ 溶液浸泡 10 min,去离子水冲洗后晾干。

1.2 试验设计

试验设 6 个不同类型的肥料处理,即 2 种氮肥(尿素(N1)、碳酸氢铵(N2))、2 种磷肥(磷酸一铵(P1)、过磷酸钙(P2))、2 种钾肥(氯化钾(K1)、硫酸钾(K2)),同一肥料条件下设不接种(NAM)和接种摩西球囊霉(AM)2 种处理,共计 12 个处理(AM-P1、NAM-P1、AM-P2、NAM-P2、AM-N1、NAM-N1、AM-N2、NAM-N2、AM-K1、NAM-K1、AM-K2、NAM-K2),每处理 3 个重复。试验盆随机排列。

每盆装土 2.5 kg,氮、磷、钾肥的施用量分别为 N 125 mg/kg, P₂O₅ 80 mg/kg, K₂O 100 mg/kg,即加入 N 0.312 5 g/盆, P₂O₅ 0.212 5 g/盆, K₂O 0.262 5 g/盆作为基肥。AM 接种处理的具体方法为:每盆层施 AM 接种剂 35 g,覆盖厚度 1 cm 基肥后播种,再覆厚度约 2 cm 的土,对照加入高温灭菌的 AM 接种剂。2016-09-15 播种,在苗高 5 cm 时选取长势基本一致的植株,每盆定苗 6 株,植株生长期间各处理统一正常浇水,浇水量为 300 mL/盆,浇水频率为每 3 天一次。试验在北京林业大学科技温室中进行,自然光照。

1.3 测定指标及方法

待植物生长 6 个月,于 2017-03-15 采集新鲜植株,洗净根系,测定全株沙打旺的粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维含量。粗蛋白含量:先用凯氏定氮法测定试样中的氮含量,然后以氮含量乘以换算系数 6.25 即可得到粗蛋白含量;粗脂肪含量用文献[15]的方法测定;灰分含量用酸不溶性灰分法[16]测定;钙含量用高锰酸钾滴定法测定;磷含量用钼锑抗比色法[17]测定;粗纤维含量用酸碱消煮法[18]测定。

1.4 数据的统计与分析

采用 Excel 2007 软件进行数据处理,应用 SPSS 22.0 软件对沙打旺植株各营养成分含量和增减效应进行单因素方差分析。因各指标的数据量纲不同,为保证评价指标的可比性,对评价指标数据进行同一化处理[19]后,再利用灰色关联度[20]进行综合分

析,对不同处理牧草粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维含量进行综合排序,选出对牧草品质影响显著的 AM 真菌与肥料类型组合,具体方法如下。

将 12 个处理用 i 表示($i=1,2,3,\dots,12$),6 项营养成分含量作为评价指标用 k 表示($k=1,2,3,4,5,6$),不同处理(i)各指标值(k)表示为 $X_i(k)$ 。在 6 项指标中,根据牲畜对牧草营养的需求,灰分、粗纤维含量选择其值最小为最优^[21],粗蛋白、粗脂肪、钙、磷含量选择其值最大为最优,从而构建 6 个指标的最优指标集 $\{X_0(k)\}$ 。

因各指标的数据量纲不同,为保证评价指标的可比性,将 $X_i(k)$ 进行同一化处理,所得结果记为 $d_i(k)$ 。将最优指标集 $\{X_0(k)\}$ 数据同一化处理后所得结果 $\{d_0(k)\}$ 作为参考列,将 $\{d_i(k)\}$ 作为比较列,计算关联系数 $\xi_i(k)$ ^[20]:

$$\xi_i(k) = \frac{\min \Delta + p \max \Delta}{\Delta_i(k) + p \max \Delta} \quad (i=1,2,3,\dots,12;$$

$$k=1,2,3,\dots,6)。$$

式中: $\min \Delta = \min \{|d_0(k) - d_i(k)|\}$; p 为灰色分辨率系数,一般取 0.5; $\max \Delta = \max \{\max |d_0(k) - d_i(k)|\}$; $\Delta_i(k) = |d_0(k) - d_i(k)|$ 。

利用下式计算关联度 r_i ^[20]:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (i=1,2,3,\dots,12; k=1,2,3,\dots,6)。$$

依据 r_i 大小对所有处理牧草品质的优劣进行排序, r_i 越大,说明该处理的指标集与最优指标集越接近,则该处理的沙打旺品质越高。

2 结果与分析

2.1 不同肥料与 AM 真菌配施对沙打旺植株各营养成分的影响

不同施肥处理下沙打旺植株各营养成分实测值如表 1 所示。由表 1 可知,施用尿素、碳酸氢铵,磷酸一铵、过磷酸钙、氯化钾和硫酸钾时,接种 AM 真菌对粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维含量的影响不同,说明肥料类型与菌剂在植物生长方面起到了重要的作用。其中粗蛋白、粗脂肪含量都以 AM-K2 处理最高,灰分、钙含量以 NAM-P1 处理最高,磷、粗纤维含量分别以 AM-N2、NAM-K1 处理最高。

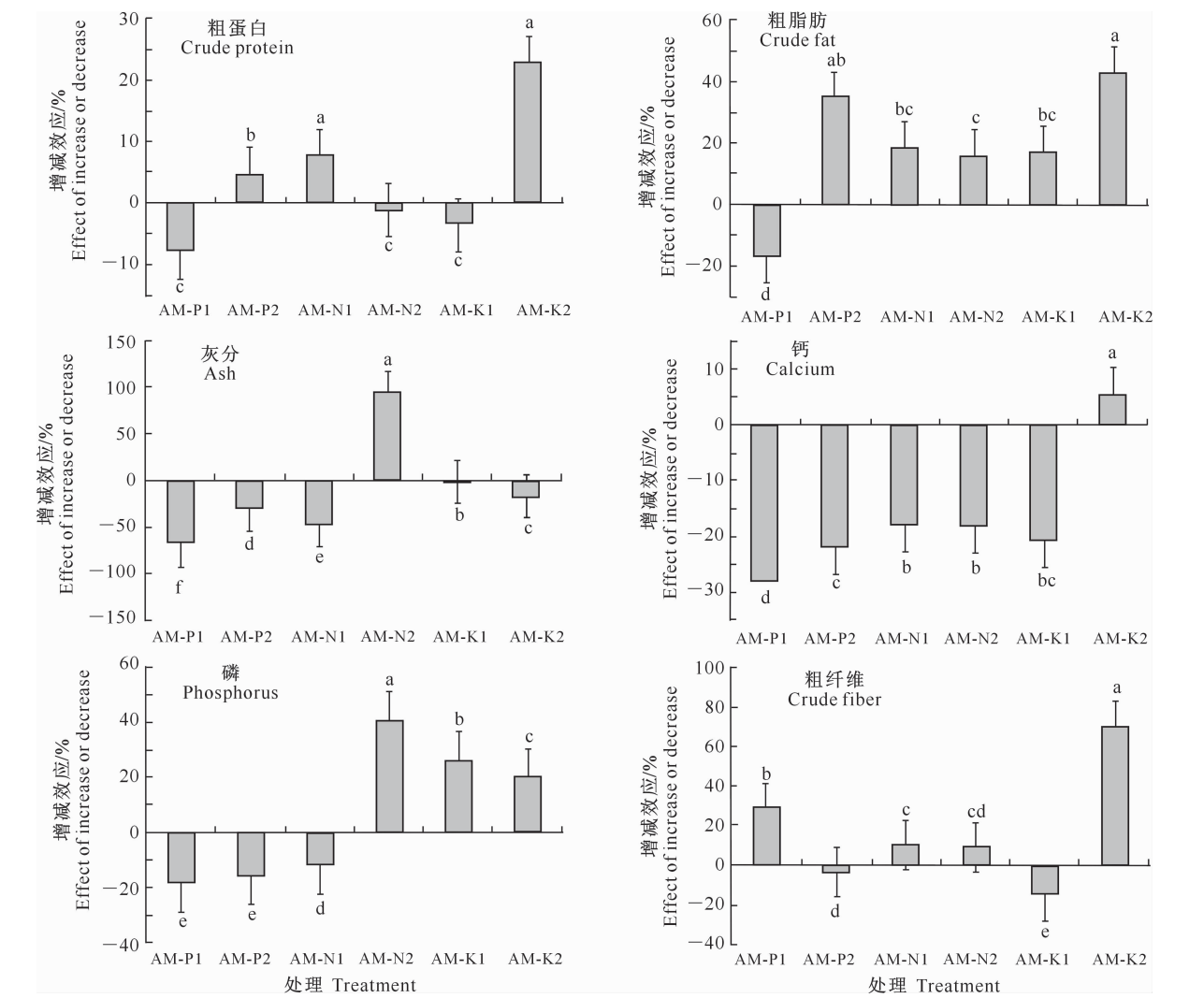
分析同一施肥处理下接种 AM 真菌处理较对照处理各营养成分含量增加的百分比(增减效应),结果见图 1。

表 1 不同肥料与 AM 真菌配施处理沙打旺的营养成分含量

Table 1 Contents of nutrient components in *A. adsurgens* with different fertilizers and AM fungi

处理 Treatment	粗蛋白/(g·kg ⁻¹) Crude protein	粗脂肪/(g·kg ⁻¹) Crude fat	灰分/(g·kg ⁻¹) Ash	钙/(mg·kg ⁻¹) Calcium	磷/(mg·kg ⁻¹) Phosphorus	粗纤维/% Crude fiber
AM-P1	4.206 bc	0.640 e	3.270 g	5 747 h	658.8 e	5.990 d
NAM-P1	4.560 ab	0.770 c	10.060 a	7 984 a	805.4 c	4.640 g
AM-P2	4.666 ab	0.830 b	3.700 f	5 615 i	619.1 f	6.365 c
NAM-P2	4.449 b	0.615 e	5.320 e	7 204 d	732.9 d	6.600 b
AM-N1	4.488 b	0.630 e	3.260 g	5 138 k	736.4 d	6.170 d
NAM-N1	4.169 c	0.530 f	6.195 c	6 262 f	832.0 b	5.615 e
AM-N2	4.446 b	0.720 cd	5.425 e	4 839 l	861.9 a	5.670 e
NAM-N2	4.493 b	0.620 e	2.795 h	5 920 g	610.7 g	5.200 f
AM-K1	4.381 b	0.705 d	3.670 f	5 288 j	721.5 d	5.770 e
NAM-K1	4.537 ab	0.600 e	3.705 f	6 669 e	570.6 h	6.815 a
AM-K2	4.720 a	0.900 a	5.820 d	7 825 b	647.4 e	6.785 ab
NAM-K2	3.843 d	0.630 e	6.960 b	7 409 c	539.4 i	3.975 h

注:AM代表接种AM真菌;NAM代表未接种AM真菌;P1为磷酸一铵,P2为过磷酸钙,N1为尿素,N2为碳酸氢铵,K1为氯化钾,K2为硫酸钾,下表同。
Note:AM represents AM fungi; NAM represents non-inoculated AM fungi;P1 is NH₄H₂PO₄,P2 is CaP₂H₄O₈,N1 is CO(NH₂)₂,N2 is NH₄HCO₃,K1 is KCl,and K2 is K₂SO₄. The same below.



图柱上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)
Different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$)
图 1 不同肥料与 AM 真菌配施条件下沙打旺植株各营养成分的增减效应
Fig.1 Changes of nutrient components of *Astragalus adsurgens* with different fertilizer types without AM fungi inoculation

由图 1 可知,不同处理沙打旺植株各营养成分的增减效应有差异。AM-K2 处理沙打旺除灰分含量外的其余 5 种营养成分的含量均提高,其中粗蛋白、粗脂肪和粗纤维的增幅较大,分别达到 22.8%,42.8%和 70.69%。各处理间的灰分变化存在显著差异,其中 AM-N2 处理沙打旺植株的灰分含量增幅最大,达到 94.1%。除 AM-K2 处理外,其余处理沙打旺植株的钙含量均降低。AM-N2、AM-K1 和 AM-K2 处理均显著提高了植株的磷含量。

以上结果表明,不同肥料与 AM 真菌配施都引起了沙打旺牧草各营养成分的变化,且出现了较大的差异,但是并没有表现出明显的规律性。

2.2 不同肥料与 AM 真菌配施处理沙打旺植株的营养指标综合排序分析

关联度分析是根据数列的可比性、可近性分析系统内部主要因素之间的相关程度,定量地反映系统内部结构之间的联系,对系统内部各事物之间状

态进行量化比较分析^[22]。由表 1 可以看出,粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷和粗纤维的最优指标集 $\{X_0(k)\}=\{4.720,0.900,2.795,7.984,861.9,3.975\}$ 。不同肥料与 AM 真菌配施处理沙打旺植株各营养成分关联系数 $\zeta_i(k)$ 、关联度 r_i 和位次如表 2 所示。由表 2 可知,12 个处理的关联度由高到低顺序为:硫酸钾与 AM 真菌配施处理(AM-K2)>单施磷酸一铵处理(NAM-P1)>单施过磷酸钙处理(NAM-P2)>过磷酸钙与 AM 真菌配施处理(AM-P2)>碳酸氢铵与 AM 真菌配施处理(AM-N2)>单施氯化钾处理(NAM-K1)>单施尿素处理(NAM-N1)>尿素与 AM 真菌配施处理(AM-N1)>氯化钾与 AM 真菌配施处理(AM-K1)>磷酸一铵与 AM 真菌配施处理(AM-P1)>单施碳酸氢铵处理(NAM-N2)>单施硫酸钾处理(NAM-K2),可知 AM-K2 处理牧草品质最好,其次为 NAM-P1 处理, NAM-K2 处理牧草品质最差。

表 2 不同肥料与 AM 真菌配施处理沙打旺植株各营养成分关联系数 $\zeta_i(k)$ 及关联度 r_i 和位次
Table 2 Correlation coefficient $\zeta_i(k)$ and correlation degree r_i and sequence of each nutrient component of *A. adsurgens* with different fertilizers and AM fungi

处理 Treatment	$\zeta_i(k)$						关联度 r_i	位次 Sequence
	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	灰分 Ash	钙 Calcium	磷 Phosphorus	粗纤维 Crude fiber		
AM-P1	0.460	0.416	0.349	0.413	0.443	0.633	0.452	10
NAM-P1	0.733	0.587	1.000	1.000	0.740	0.395	0.743	2
AM-P2	0.891	0.726	0.364	0.399	0.399	0.759	0.589	4
NAM-P2	0.618	0.394	0.434	0.669	0.556	0.869	0.590	3
AM-N1	0.654	0.407	0.348	0.356	0.562	0.688	0.502	8
NAM-N1	0.443	0.333	0.485	0.477	0.843	0.542	0.520	7
AM-N2	0.615	0.507	0.439	0.333	1.000	0.554	0.575	5
NAM-N2	0.659	0.398	0.333	0.433	0.391	0.468	0.447	11
AM-K1	0.564	0.487	0.362	0.368	0.536	0.576	0.482	9
NAM-K1	0.706	0.381	0.364	0.545	0.356	1.000	0.559	6
AM-K2	1.000	1.000	0.461	0.908	0.429	0.979	0.796	1
NAM-K2	0.333	0.407	0.534	0.732	0.333	0.333	0.446	12

由表 2 可知,磷酸一铵、过磷酸钙分别与 AM 真菌配施处理(AM-P1、AM-P2)沙打旺植株品质均低于单施磷酸一铵(NAM-P1)、过磷酸钙(NAM-P2)处理,说明 AM 真菌抑制了两种磷肥的肥效;尿素、碳酸氢铵分别与 AM 真菌配施(AM-N1、AM-N2)对沙打旺品质的影响不同,其中尿素与 AM 真菌配施处理沙打旺品质低于单施尿素处理,而碳酸氢铵与 AM 真菌配施处理沙打旺品质高于单施碳酸氢铵处理,但以上 2 种氮肥与 AM 真菌配施的作用都不明显;氯化钾与 AM 真菌配施处理(AM-K1)沙打旺品质低于单施氯化钾处理(NAM-K1),而硫酸钾与 AM 真菌配施处理(AM-K2)沙打旺品质明显高于单施硫酸钾处理(NAM-K2)。由以上分析可

知,硫酸钾与 AM 真菌配施能明显提高沙打旺品质。

3 讨 论

在本试验所用的几种肥料中,AM 真菌配合氮、磷、钾肥施用,对沙打旺营养成分影响没有呈现出明显的规律性。用灰色关联度分析之后可知,硫酸钾配合 AM 真菌配施处理沙打旺的品质最好,而单施用硫酸钾的沙打旺品质最差;AM 真菌与磷肥配施对沙打旺品质有显著的抑制作用。本研究发现,磷酸一铵、过磷酸钙与 AM 真菌配施后沙打旺的灰分、钙、磷含量均下降,而粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量变化趋势不同,说明在不同类型磷肥的影响下

AM 菌对沙打旺的菌根效应有差异,但 2 种磷肥与 AM 真菌配施沙打旺综合品质均没有提高,反而有不同程度的降低。这可能是因为土壤中磷含量会直接影响 AM 真菌的发育及其对植物的接种效应,由于本试验所设磷肥施用量较高,而磷含量过高则会抑制 AM 真菌的发育,同时真菌吸收到体内的磷不能顺利输送给植物^[23],而且寄主植物对菌根的依赖性也会降低^[24],AM 真菌成为单纯的消费者,与植物之间就不能形成一种互利的寄生关系^[25]。

有研究表明,施用氮肥能促进或抑制 AM 真菌对植物的侵染^[26-27],同时氮素形态也能影响 AM 真菌的侵染^[28]。本试验发现,尿素、碳酸氢铵与 AM 真菌配施后沙打旺牧草的粗脂肪、粗纤维含量均增加,钙含量均降低,而粗蛋白、灰分、磷含量的变化趋势不同,并且 2 种氮肥处理对沙打旺综合品质的影响也不同。导致这种情况的原因是,不同形态氮素对 AM 真菌侵染的影响有差异。

本研究发现,氯化钾、硫酸钾与 AM 真菌配施后沙打旺的粗脂肪、磷含量均增加,灰分含量均降低,而粗蛋白、钙、粗纤维含量的变化趋势不同。硫酸钾与 AM 真菌配施后,沙打旺牧草品质明显提高,而氯化钾与 AM 配施后对牧草品质并没有明显影响。产生该结果的原因,一方面是硫酸钾除提供作物钾养分外,还含有对植物生长起促进作用的硫酸根离子,它是植物所需硫养分的重要来源^[29],另一方面硫酸钾适用于各种植物,但氯化钾不能施用于对氯离子非常敏感的忌氯植物,当豆科植物对氯离子吸收量达到一定程度时,会明显地影响自身的产量和品质,而且土壤中累积的氯离子会造成土壤酸化,而本试验选用的摩西球囊霉在土壤 pH 为中性或偏碱性的条件下效果最佳。

综上所述,AM 菌与不同肥料配施对沙打旺牧草营养指标的影响存在促生效应、抑制效应或中性效应,其中 AM 真菌与硫酸钾配施处理的沙打旺牧草品质最佳。

[参考文献]

[1] Huyghe C. New utilizations for the grassland areas and the forage plants; what matters [J]. Fourrages, 2010, 134(203): 213-219.

[2] 贺学礼,郭辉娟,王银银. 土壤水分和 AM 真菌对沙打旺根际土壤理化性质的影响 [J]. 河北大学学报(自然科学版), 2013, 33(5): 508-513.

He X L, Guo H J, Wang Y Y. Effects of soil moisture and AM fungi on the soil physicochemical property in the rhizosphere of

Astragalus adsurgens [J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2013, 33(5): 508-513.

[3] 郭艳娥,李芳,李应德,等. AM 真菌促进植物吸收利用磷元素的机制 [J]. 草业科学, 2016, 33(12): 2379-2390.

Guo Y E, Li F, Li Y D, et al. Progress in the elucidation of the mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in promotion of phosphorus uptake and utilization by plants [J]. Pratacultural Science, 2016, 33(12): 2379-2390

[4] Oliveira R S, Vosátka M, Dodd J C, et al. Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment [J]. Mycorrhiza, 2005, 16(1): 23-31.

[5] Shipra S, Anita P, Bhavesh K, et al. Enhancement in growth and quality parameters of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] through inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in an acid soil [J]. Biology & Fertility of Soils, 2010, 46(5): 427-433.

[6] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal symbiosis [M]. London: Academic Press, 2010.

[7] Hoeksema J D, Chaudhary V B, Gehring C A, et al. A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi [J]. Ecology Letters, 2010, 13(3): 394-407.

[8] 郭辉娟,贺学礼. 水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5933-5940.

Guo H J, He X L. Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of astragalus membranaceus under water stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5933-5940.

[9] Wright S F, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Plant & Soil, 1998, 198(1): 97-107.

[10] 杨泽新,蔡维湘. 贵州灌丛草地几种常见灌木和草本类牧草营养成分含量变化规律研究 [J]. 中国草地学报, 1994(4): 54-58.

Yang Z X, Cai W X. Study on the changing low of nutrient composition of some major herbages in grass health in Guizhou [J]. Grassland of China, 1994(4): 54-58.

[11] 吴克谦,周清水,李翠英,等. 青割沙打旺对牛的饲用价值和安全性 [J]. 中国农业科学, 1987, 20(2): 93.

Wu K Q, Zhou Q S, Li C Y, et al. Feeding value and safeness of milkvetch for cattle [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(2): 93.

[12] 刘国彬,杨小寅. 沙打旺生物量及营养物质形成规律的研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(4): 272-282.

Liu G B, Yang X Y. Study on the biomass and the formation of nutritional substances in shaoxing [J]. Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica, 1988, 12(4): 272-282.

[13] 陈国良,穆兴民. 水肥对沙打旺产草量协同效应的初步研究 [J]. 水土保持学报, 1992(3): 73-78.

Chen G L, Mu X M. A preliminary study on coordinative effect of the moisture and fertilizer on the grass yield of A.

- adsurgens*. [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992 (3): 73-78.
- [14] 范双喜, 谷建田, 韩莹琰. 园艺植物高温逆境生理研究进展 [J]. 北京农学院学报, 2003, 18(2): 147-151.
Fan S X, Gu J T, Han Y Y. Progress in research of high temperature stress physiology of horticultural plants [J]. Journal of Beijing Agricultural University, 2003, 18(2): 147-151.
- [15] 袁美, 李双玲, 任艳, 等. 正交设计法研究花生粗脂肪含量测定方法 [J]. 花生学报, 2007, 36(4): 33-35.
Yuan M, Li S L, Ren Y, et al. Optimization of peanut fat measurement by orthogonal design [J]. Journal of Peanut Science, 2007, 36(4): 33-35.
- [16] 蒋传中, 李志萍, 邓寒霜. 丹参浸出物与灰分测定实验研究 [J]. 西北药学杂志, 2004, 19(4): 159-160.
Jiang C Z, Li Z P, Deng H S. Experimental study on the determination of aalvia extract and ash content [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2004, 19(4): 159-160.
- [17] 李会娟. 2 种植物磷含量的检测方法比较研究 [J]. 现代农业科技, 2012(11): 16-17.
Li H J. Comparative study on determination of phosphorus content in two kinds of plants [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(11): 16-17.
- [18] 齐贤涛, 孙要武, 冯海英. 齐齐哈尔市 6 种蔬菜粗纤维含量测定 [C]//中国营养学会妇幼营养分会. 妇幼与青少年营养进展学术研讨会及中国孕妇、乳母和 0—6 岁儿童膳食指南宣传推广会论文汇编. 齐齐哈尔市: [出版者不详], 2009.
Qi X T, Sun Y W, Feng H Y. Determination of crude fiber content of six vegetables in Qiqihar City [C]//Chinese Nutrition Society Women and Children Nutrition Branch. Symposium on nutritional progress of women and children and adolescents and a compilation of papers on dietary guidelines for pregnant women, lactating mothers and children aged 0—6. Qiqihar: [s. n.], 2009.
- [19] 李炳军, 朱春阳, 周杰. 原始数据无量纲化处理对灰色关联度的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(2): 199-202.
Li B J, Zhu C Y, Zhou J. Effect of non-dimensional quantities of original data on grey incidence order [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2002, 36(2): 199-202.
- [20] 孙芳芳. 浅议灰色关联度分析方法及其应用 [J]. 科技信息, 2010, 17(2): 886-888.
Sun F F. Discussion on grey relational analysis method and its application [J]. Science & Technology Information, 2010, 17(2): 886-888.
- [21] 向志民, 何敏. 蒿类半灌木牧草质量分析 [J]. 草业科学, 2000, 17(1): 13-15, 20.
Xiang Z M, He M. Analysis of the quality of semi-shrub forage grass [J]. Pratacultural Science, 2000, 17(1): 13-15, 20.
- [22] 范青慈. 青海莎草科植物主要几种牧草质量分析 [J]. 草业与畜牧, 2002(4): 37-39.
Fan Q C. Analysis of the quality of several kinds of forage grass in sedge family in Qinghai [J]. Grass Industry And Animal Husbandry, 2002(4): 37-39.
- [23] 王森焱, 刘树堂, 刘润进. 长期定位施肥土壤中 AM 真菌耐磷性的比较 [J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1056-1059.
Wang M Y, Liu S T, Liu R J. P-tolerance of arbuscular mycorrhizal fungi in soil under long term fertilization [J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(6): 1056-1059.
- [24] Kaya Z. Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition [J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25(6): 1263-1279.
- [25] Johnson N C, Graham J H, Smith F A, et al. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum [J]. New Phytologist, 1997, 135(4): 575-585.
- [26] Ames R N, Porter L K, John T V, et al. Nitrogen sources and 'a' values for vesicular-arbuscular and non-mycorrhizal sorghum grown at three rates of ¹⁵N-ammonium sulphate [J]. New Phytologist, 1984, 97(2): 269-276.
- [27] 白登莎·买买提艾力, 冯固, 杨茂秋, 等. 长效涂层尿素对春小麦生长的影响及氮素利用率的研究 [J]. 新疆农业科学, 1996(5): 215-217.
Maimaiti B D S, Feng G, Yang M Q, et al. Effects of long-acting coating urea on the growth of spring wheat and nitrogen utilization [J]. Xinjiang Agricultural Science, 1996(5): 215-217.
- [28] 卢彦琦, 贺学礼. AM 真菌与施氮量对白术光合色素的影响 [J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 314-316.
Lu Y Q, He X L. Effects of AM fungi on photosynthetic pigment of *Atractylodes macrocephala* under different nitrogen levels [J]. Acta Agricultural Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(4): 314-316.
- [29] 朱道成, 黄大雨. 忌氯作物的优良肥料-硫酸钾 [J]. 化工矿物与加工, 1994(4): 48-52.
Zhu D C, Huang D Y. Excellent fertilizer for chlorine crops-potassium sulfate [J]. Chemical Minerals and Processing, 1994(4): 48-52.