

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.01.012

宿翠翠, 周彦芳, 施志国, 等. 不同施肥方式与保水剂互作对河西地区黄芪土壤微环境及产量的影响. 土壤, 2023, 55(1): 94–103.

不同施肥方式与保水剂互作对河西地区黄芪土壤微环境及产量的影响^①

宿翠翠^{1,2,3}, 周彦芳^{1,2,3}, 施志国^{1,2,3}, 王振龙^{1,2,3}, 赵 玺^{1,2,3}, 邓超超^{1,2,3}, 魏玉杰^{1,2,3*}

(1 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃武威 733006; 2 甘肃省特种药源植物种质创新与安全利用重点实验室, 甘肃武威 733006; 3 武威市农田土壤改良与耕地保育技术创新中心, 甘肃武威 733006)

摘 要: 土壤干旱缺水和有机质亏缺是限制甘肃河西地区黄芪产业发展的关键因素。为探索促进河西地区土壤蓄水保肥和土壤微环境改善的施肥措施, 通过连续 2 年大田试验, 设置保水剂+有机肥+普通尿素(B+OM+N)、保水剂+有机肥+缓释尿素(B+OM+HN)、保水剂+普通尿素(B+N)、有机肥+普通尿素(OM+N)、有机肥+缓释尿素(OM+HN)和单施普通尿素(CK)6 个处理, 探讨了不同施肥方式与保水剂互作对黄芪土壤水分、养分等微环境指标的影响, 并分析了其与产量之间的相关性。结果表明: 随着土层深度的加深, 土壤水分含量先升后降, 有机质、速效氮磷钾及微生物生物量碳、氮(MBC、MBN)含量逐渐降低, $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量逐渐增加, MBC/MBN 比先增后减; 随着生育期的推进, 土壤水分、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量逐渐降低, 有机质、MBC、MBN 含量和 MBC/MBN 比逐渐增加, 碱解氮、速效钾含量先升后降, 有效磷含量波动式下降; 不同土层深度、不同生育期各养分指标及黄芪芦头直径和单株根重均以 B+OM+HN 处理表现最高。相关性分析显示, 土壤养分指标间及其与黄芪产量指标显著正相关。综上, 有机肥、缓释尿素、保水剂的施用提升了黄芪土壤养分, 改善了土壤微环境, 进而提高了黄芪产量, 其中以氮减量 1/3 的基础上配施有机肥、缓释尿素与保水剂处理对河西灌区土壤微环境改善和黄芪产量提升效果最佳。

关键词: 保水剂; 有机肥; 缓释尿素; 土壤微环境

中图分类号: S158.2 **文献标志码:** A

Effects of Different Fertilization Methods and Water Retaining Agents on Soil Microenvironment and Yield of *Astragalus mongholicus* in Hexi Region

SU Cuicui^{1,2,3}, ZHOU Yanfang^{1,2,3}, SHI Zhiguo^{1,2,3}, WANG Zhenlong^{1,2,3}, ZHAO Xi^{1,2,3}, DENG Chaochao^{1,2,3}, WEI Yujie^{1,2,3*}

(1 Gansu Academy of Agri-engineering Technology, Wuwei, Gansu 733006, China; 2 Key Laboratory of Germplasm Innovation and Safe Utilization of Special Medicinal Plants of Gansu Province, Wuwei, Gansu 733006, China; 3 Wuwei City Farmland Soil Improvement and Farmland Conservation Technology Innovation Center, Wuwei, Gansu 733006, China)

Abstract: Soil drought and lack of organic matter are the key factors limiting the development of astragalus industry in Hexi region of Gansu Province. This study aimed to explore the fertilization methods for soil water storage and fertilizer conservation and soil microenvironment improvement in Hexi region of Gansu Province, in which six treatments were designed for two consecutive years of field experiments, including water retaining agent + organic fertilizer + common urea (B+OM+N), water retaining agent + organic fertilizer + slow-release urea (B+OM+HN), water retaining agent + common urea (B+N), organic fertilizer+common urea (OM+N), organic fertilizer + slow-release urea (OM+HN) and single application of common urea (CK). The effects of different fertilization methods and water retaining agents on soil moisture and nutrient indexes of *Astragalus mongholicus* were investigated, and their correlation with yield were analyzed. The results show that with the deepening of soil depth, soil moisture is increased first and then is decreased, organic matter, available nitrogen, phosphorus and potassium, MBC and MBN are decreased gradually, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ are increased gradually, and MBC/MBN is increased first and then is decreased. With growth period, soil moisture, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ are decreased gradually, organic matter, MBC, MBN and

^①基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-21-25)资助。

* 通讯作者(3906252286@qq.com)

作者简介: 宿翠翠(1990—), 女, 甘肃定西人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水肥资源高效利用研究。E-mail: 291409435@qq.com

MBC/MBN are increased gradually, alkali-hydrolyzable N and available K are increased first and then are decreased, and available P is decreased in a fluctuation pattern. B+OM+HN show the highest performance in all nutrient indexes, reed head diameters and root mass per plant of astragalus in different soil depths and different growth stages. Correlation analysis shows that there is significant positive correlation between soil nutrient indexes and yield indexes of *Astragalus mongholicus*. In conclusion, the application of organic fertilizer, slow-release urea and water retaining agent can improve soil nutrients and microenvironment, and then increase the yield of *Astragalus mongholicus*. The interaction treatment of slow-release urea and water retaining agent combined with organic fertilizer based on reducing 1/3 nitrogen has the best effect on improving soil microenvironment and increasing yield of *Astragalus mongholicus* in Hexi irrigation area.

Key words: Water-retaining agent; Organic fertilizer; Slow-release urea; Soil microenvironment

黄芪(*Astragalus mongholicus* (Fisch.) Bge)^[1], 为多年生草本豆科植物, 以根入药, 味甘性温, 归肺、脾经, 具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血、行滞通痹等功效, 产自中国东北、华北及西北, 因市场需求现广为栽培。甘肃陇西、岷县、渭源等黄芪主产区, 由于连续多年种植, 农田土壤质量退化, 黄芪产量降低。近年, 与其生态气候和海拔等环境相似的甘肃河西古浪、民乐等地区黄芪种植面积也逐步扩大。经过前期调查分析发现, 河西地区气候干燥, 年降雨量少, 土壤有机质含量偏低, 加之农户盲目追求高产, 化肥施用不合理, 对土壤环境造成了破坏, 严重影响了当地黄芪产业发展。

土壤作为作物生长发育的基础, 改善土壤微环境是调控作物生长、提升产量的关键措施。土壤水分是土壤环境最为重要的组成部分, 是植物最主要的水源。近年来, 为缓解农田干旱缺水, 合理高效利用自然资源, 保水剂被广泛应用于农业抗旱节水^[2-3]。杨永辉等^[4]的研究结果表明, 保水剂能提高生育期内冬小麦 0 ~ 100 cm 土层土壤水分含量, 在提高作物产量上有较好的效果。田露等^[5]、宋双双等^[6]研究发现, 保水剂与微生物菌肥配施可较好改善旱作区土壤微生物活性, 一定程度增加土壤养分含量。

土壤有机质是土壤肥力的关键指标, 是植物营养的主要来源之一。施用有机肥料是培肥土壤的有效途径, 有机肥可以提升土壤有机质, 提高施肥效果, 改善土壤微环境, 改良农田生态环境^[7-12]。研究表明, 合理配施有机肥与化肥可在一定程度上提高紫花苜蓿^[7]、菠萝^[8]、水稻^[10]、荔枝^[12]等土壤有机质、速效氮磷钾、微生物生物量碳氮含量等养分指标。氮肥对农产品产量和品质的提升有重要作用。我国是世界上氮肥施用量最大的国家, 化肥施用长期呈中高氮水平, 过量和不合理施用对土壤环境造成一定的污染^[13]。缓释尿素养分释放缓慢, 可以很好地供应作物整个生育期养分需求, 提高作物产量, 提升氮素利用率, 减弱

氮素过量带来的土壤环境破坏^[14]。胡迎春等^[15]研究表明, 氮肥减量 20% 下缓释肥和尿素配施可显著提高土壤硝态氮和铵态氮含量, 实现减氮增效目标。

当前有关保水剂、有机肥、缓释尿素及其中两者配施对土壤肥力的影响有较多研究, 而针对三者的配施互作对黄芪土壤微环境的改善研究却鲜有报道。本研究以甘肃黄芪为供试作物, 在河西地区研究有机肥配施缓释尿素与保水剂互作条件下, 土壤水分、养分指标、微生物活性等微环境的变化, 并分析其与产量之间的相互关系, 以为河西地区黄芪种植提供科学高效的保水培肥措施, 为黄芪产业的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物为甘肃黄芪幼苗(长约 20 cm), 由渭源县天成中药材种植专业合作社提供。

供试保水剂为海瑞达保水剂, 由甘肃海瑞达生态环境科技有限公司生产, 其由高吸水性树脂材料组成, 含有大量吸水基团, 可吸收并保持自身质量上百倍的水分, 且可反复吸水并缓慢释放。

供试凹土棒有机肥(有机质>45%, N+P₂O₅+K₂O>5%), 由临泽县鼎丰源凹土高新技术开发有限公司生产。凹土棒具有极强的吸附性、离子交换性和催化性, 可保肥保水、改良土壤、补充微量有益元素。供试缓释尿素(N 含量≥44%), 是尿素经过物理和化学方法处理使其释放和分解氨的速度降低, 同时氨被利用的速度增强, 从而氮素利用效率提高; 供试普通尿素(N 含量≥46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 含量>16%)、硫酸钾(K₂O 含量>40%)均为市售。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况 本试验于 2020—2021 年连续两年在甘肃省农业工程研究院试验基地(N37°67', E102°85')进行。该区域海拔 1 723 m, 年

均日照时数 2 726 h, 年均降水量 154.6 mm, 年均温度 8℃, 农作物一年一熟。试验区供试土壤为灌淤土, 2020 年前茬作物为大麦, 播种前取种植区域 0 ~ 20 cm 耕层土壤测得土壤全氮 0.79 g/kg, 全磷 0.49 g/kg, 全钾 8.85 g/kg, 碱解氮 45 mg/kg, 有效磷 6 mg/kg, 速效钾 87 mg/kg, 有机质 11.06 g/kg, pH 为 8.30, 容重 1.70 g/cm³。

1.2.2 试验设计 试验采用裂区试验设计, 2020 年和 2021 年施肥处理一致, 主处理为保水剂, 副处理为有机肥、缓释尿素、普通尿素, 共 6 个处理, 分别为保水剂+有机肥+普通尿素(B+OM+N)、保水剂+有机肥+缓释尿素(B+OM+HN)、保水剂+普通尿素处理(B+N)、生物有机肥+普通尿素(OM+N)、有机肥+

缓释尿素(OM+HN)和普通尿素处理(CK), 每个处理 4 个重复, 每个重复一个小区, 小区面积 15 m²。其中, 保水剂用量为 75 kg/hm², 有机肥用量为 3 000 kg/hm², 尿素用量为 326.09 kg/hm², 缓释尿素用量为 341 kg/hm², 缓释尿素施氮量按照普通尿素施氮量的 2/3 施用, 减施 1/3 总氮量; 过磷酸钙用量为 1 406.3 kg/hm², 硫酸钾用量为 500 kg/hm²。以上有机肥、40% 的氮肥和全部磷钾肥混合基施, 剩余 60% 的氮肥分别在黄芪苗期、现蕾期和结荚期追施。黄芪采用露天开沟斜栽方式种植, 行距 50 cm, 株距 15 cm, 沟深 25 cm, 采用滴灌灌溉方式, 栽苗后滴水 50 m³/hm², 其余田间管理同常规种植。各处理养分投入量见表 1。

表 1 不同处理化肥和有机肥养分投入量
Table 1 Nutrient inputs of chemical and organic fertilizers under different treatments

处理编号	化肥养分投入量 (kg/hm ²)			有机肥养分投入总量 (kg/hm ²)	基肥养分投入总量 (kg/hm ²)	追肥养分投入量 (kg/hm ²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	N
CK	150	225	200	0	485	90
OM+N	150	225	200	150	635	90
OM+HN	100	225	200	150	615	60
B+N	150	225	200	0	485	90
B+OM+N	150	225	200	150	635	90
B+OM+HN	100	225	200	150	615	60

1.3 采样与指标测定

1.3.1 土壤理化指标 黄芪栽种前分别取 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层深度土样测定基础养分。栽播后, 连续 2 年在黄芪生长苗期、现蕾开花期、结荚期、收获期, 按照“S”形采样法, 每个各小区内选取 5 个点, 用土钻取 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层土样, 将各土层土样混匀后, 分为 3 部分, 一部分用于土壤水分测定; 一部分自然阴干研磨过筛(200 目)后, 用于有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量测定; 一部分鲜样保存于 -20℃冰箱, 用于硝态氮、铵态氮、微生物生物量碳氮的测定。

土壤水分、有机质、有效磷、速效钾含量按照《土壤农化分析》^[16]方法进行测定, 硝态氮、铵态氮采用氯化钾浸提, 滤液上全自动化学工作站测定^[17]; 微生物生物量碳氮(MBC、MBN)采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提, 滤液上碳氮分析仪测定^[18]。

1.3.2 产量指标 在黄芪收获期, 每个处理随机选取 10 株, 挖出地下部, 将根从茎基根部剪下, 测定根长和芦头直径后, 晾干后再测定其单株根重。根长用卷尺测定, 芦头直径(黄芪芦头向下 1 cm 处的根直

径)用游标卡尺测量, 单株根重用天平测定。

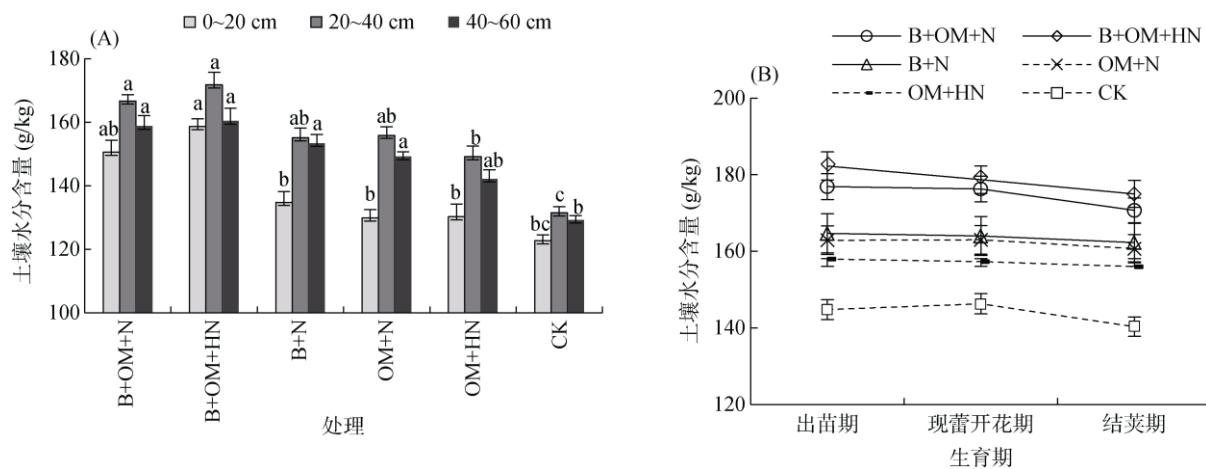
1.4 数据处理

本文数据为第 2 年试验数据, 用 WPS 处理、作图, 采用 SPSS 21.0 进行统计分析, 用 LSD 法进行显著性检验, 并进行双变量相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理与保水剂互作对土壤水分含量的影响

图 1A 为不同土层深度土壤水分变化, 可见, 随着土层深度的增加, 0 ~ 60 cm 土层水分呈现先升后降的趋势, 在 20 ~ 40 cm 土层达到最大值, 施用保水剂处理土壤含水量均高于未施用保水剂处理, 施用有机肥处理高于未施有机肥处理, 其中 B+OM+HN 处理表现最高。在 0 ~ 20 cm 土层, B+OM+HN 与 B+OM+N 处理间差异不显著, 但与其他处理差异显著($P<0.05$); 20 ~ 40 cm 土层 B+OM+N 处理与 OM+HN、CK 处理差异显著($P<0.05$), 与其他处理无显著差异; 40 ~ 60 cm 土层, 各配施处理与 CK 处理差异显著($P<0.05$), 但各配施处理间无显著差异。图



(图中不同小写字母表示同一土层不同处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著, 下同)

图 1 不同处理黄芪生育期内 0 ~ 60 cm 土层土壤含水量变化

Fig. 1 Soil moistures in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

1B 为土壤含水量生育期内动态变化, 可见, 随着生育期的推进, 各处理土壤含水量逐渐下降, 变化趋势平缓, 整个生育期表现为 $B+OM+HN > B+OM+N > B+N > OM+N > OM+HN > CK$ 。总之, 保水剂和有机肥互作可以减缓土壤水分蒸发, 保持土壤水分均衡。

2.2 不同施肥处理与保水剂互作对土壤有机质含量的影响

图 2A 为不同处理 0 ~ 60 cm 土层有机质含量, 可见, 不同施肥处理黄芪土壤有机质含量为 8.95 ~ 15.54 g/kg, 随着土层深度的增加有机质含量整体呈下降趋势, 0 ~ 40 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN、

OM+N、OM+HN 处理与 B+N、CK 处理差异显著 ($P < 0.05$), 40 ~ 60 cm 土层 B+OM+HN 处理与其他处理差异显著 ($P < 0.05$)。0 ~ 60 cm 土层增施有机肥处理有机质含量均高于未施有机肥处理, 施用保水剂处理略高于未施保水剂处理, 其中 0 ~ 20 cm 土层以 B+OM+N 处理有机质含量最高, 20 ~ 60 cm 土层 B+OM+HN 处理表现最高。图 2B 为黄芪生育期内有机质含量动态变化, 随着黄芪生育期的延长各处理土壤有机质含量均呈先降低后上升趋势, 现蕾开花期达到最低, 其中生育后期 B+OM+HN 处理高于其他处理, 整个生育期各配施处理均高于 CK 处理。

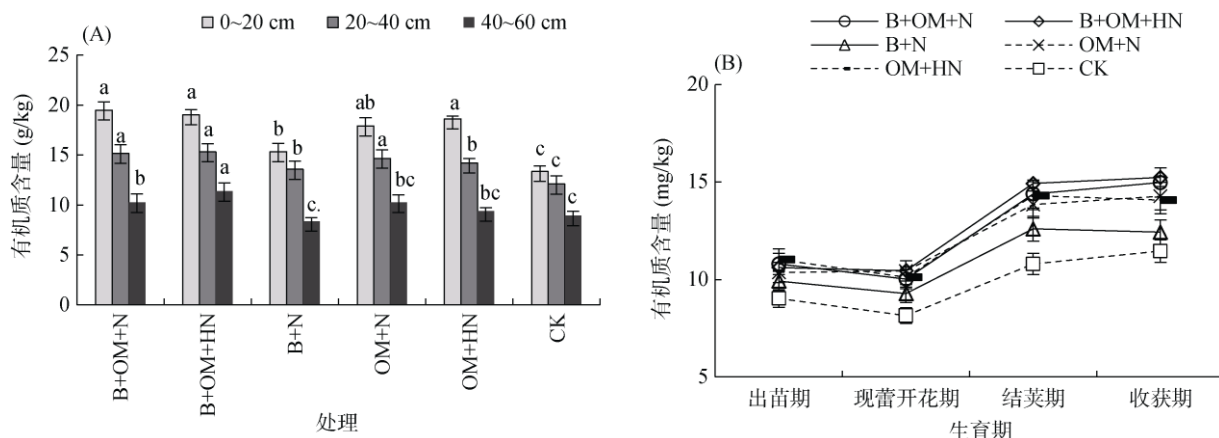


图 2 不同处理黄芪生育期内 0 ~ 60 cm 土层有机质含量

Fig. 2 Organic matter contents in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

2.3 不同施肥处理与保水剂互作对土壤碱解氮含量的影响

图 3A 为不同土层深度土壤碱解氮含量, 可见, 在 0 ~ 60 cm 土层随着土层深度的增加碱解氮含量逐渐减少, 0 ~ 20 cm 土层 B+OM+N 和 B+OM+HN 处

理和 20 ~ 60 cm 土层 B+OM+HN 处理碱解氮含量与其他处理间表现显著性差异 ($P < 0.05$), 其中以 B+OM+HN 处理碱解氮含量最高。0 ~ 40 cm 土层各配施处理与 CK 处理差异显著 ($P < 0.05$), 40 ~ 60 cm 土层施用有机肥处理高于未施用有机肥处理。图 3B

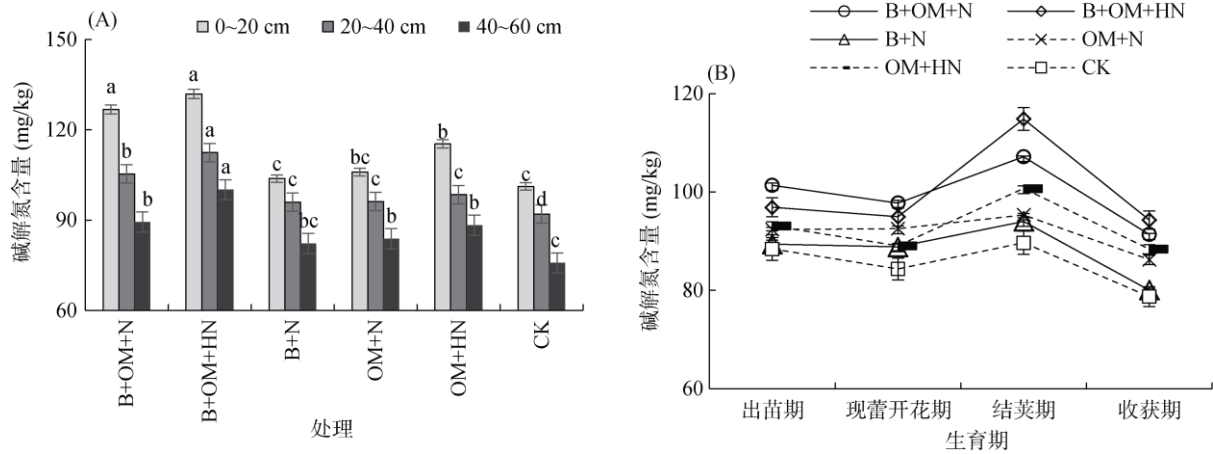


图 3 不同处理黄芪生育期内 0~60 cm 土层碱解氮含量

Fig. 3 Alkali-drolyzable nitrogen contents in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

为碱解氮含量在黄芪生育期内的动态变化,可见,随着生育期的推进,碱解氮含量呈先升后降趋势,各处理均在结荚期达到最高值,收获期出现最低值。总体看来,出苗期和现蕾开花期 B+OM+N 处理土壤碱解氮含量最高,结荚期和收获期 B+OM+HN 处理最高。

2.4 不同施肥处理与保水剂互作对土壤有效磷含量的影响

图 4A 为不同土层有效磷含量,可见,在 0~60 cm 土层随着土层深度的增加有效磷含量逐渐降低。0~20 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN 处理与其他处理差异显著($P<0.05$), OM+N、OM+HN 处理与 B+N、CK 处理差异显著($P<0.05$); 20~60 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN、OM+N、OM+HN 处理与 B+N、CK 处理差异显著($P<0.05$),而前后两组组间无显著差异; 0~60 cm 土层均以 B+OM+HN 处理表现最高。图 4B 为有效磷动态变化,可见,随着黄芪

生育期的延长,有效磷含量呈波动式下降趋势,各处理在出苗期最高,收获期最低,整体趋势表现为 B+OM+HN>B+OM+N>OM+HN>OM+N>B+N>CK。

2.5 不同施肥处理与保水剂互作对土壤速效钾含量的影响

图 5A 为不同土层速效钾含量,可见,在 0~60 cm 土层随着土层深度的增加速效钾含量逐渐降低。0~40 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN 处理与其他处理差异显著($P<0.05$), OM+N、OM+HN、B+N 处理与 CK 处理差异显著($P<0.05$); 40~60 cm 土层各配施处理与 CK 处理差异显著($P<0.05$),各配施处理相互之间无显著差异,其中以 B+OM+HN 处理表现最高。图 5B 为速效钾含量动态变化,可见,随着黄芪生育期的延长,速效钾含量先增加后减小,在结荚期达到最高值,现蕾开花期为最低值,生育期中段整体趋势表现为 B+OM+HN>B+OM+N>OM+HN>OM+N>B+N>CK。

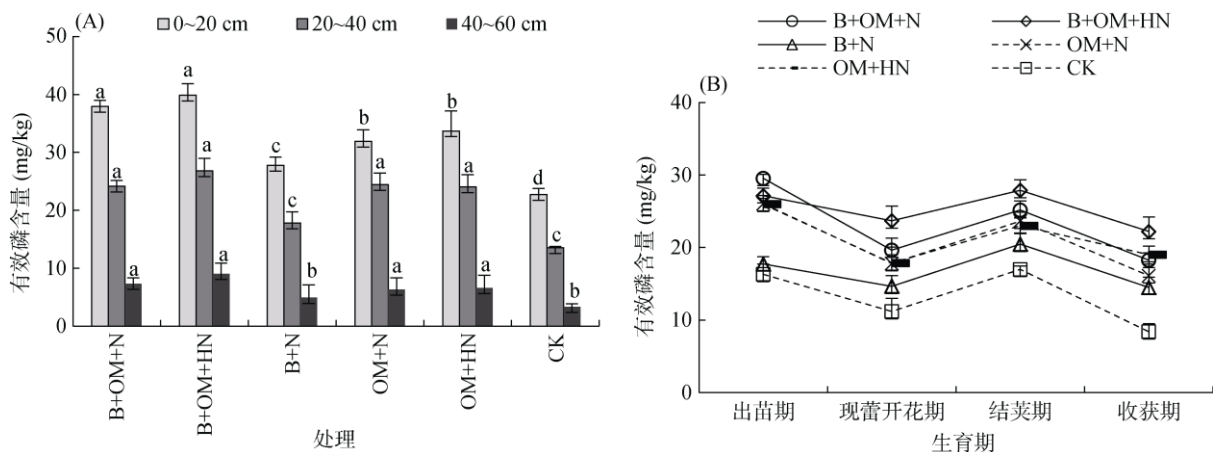


图 4 不同处理黄芪生育期 0~60 cm 土层有效磷含量

Fig. 4 Available phosphorus contents in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

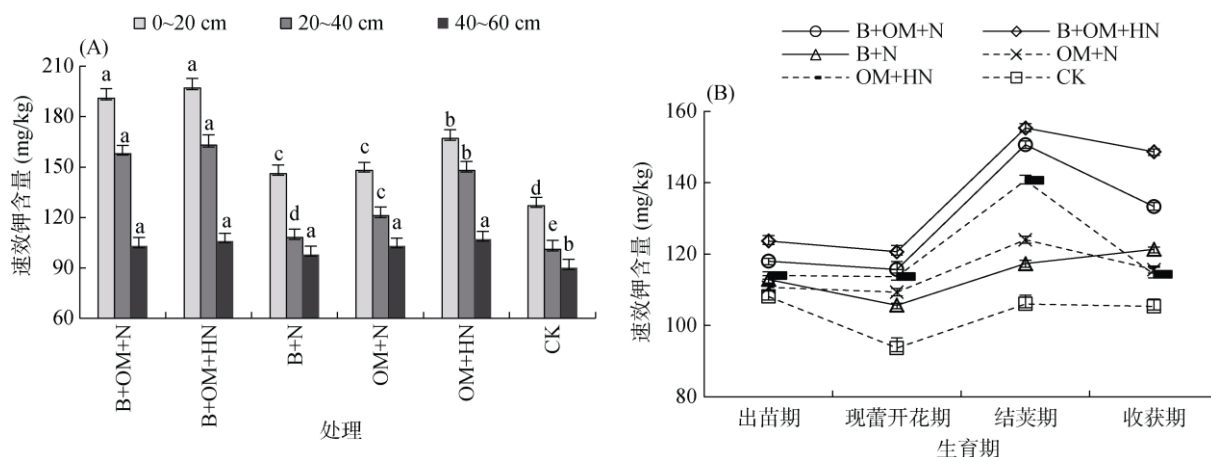


图 5 不同处理下黄芪生育期内 0~60 cm 土层速效钾含量

Fig. 5 Available potassium contents in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

2.6 不同施肥处理与保水剂交互对土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的影响

图 6A 和图 6B 分别为不同土层深度 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量, 可见, 在 0~60 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量随着土层深度的增加逐渐增加。0~20 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量各处理间无显著差异; 20~40 cm 土层两者在 B+OM+HN 处理与其他处理间差异显著 ($P<0.05$); 40~60 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量以

B+OM+N、B+OM+HN、OM+HN、OM+HN 处理表现显著差异 ($P<0.05$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量以 B+OM+N、B+OM+HN、B+N 处理表现显著差异 ($P<0.05$)。图 6C 和图 6D 为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的动态变化, 可见, 随着黄芪生育期的延长, B+OM+HN 和 OM+HN 处理下 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量和 B+OM+HN 和 B+N 处理下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量先升后降, 其余处理两者均呈下降趋势, 纵观整个生育期, 以 B+OM+HN 处理最高。

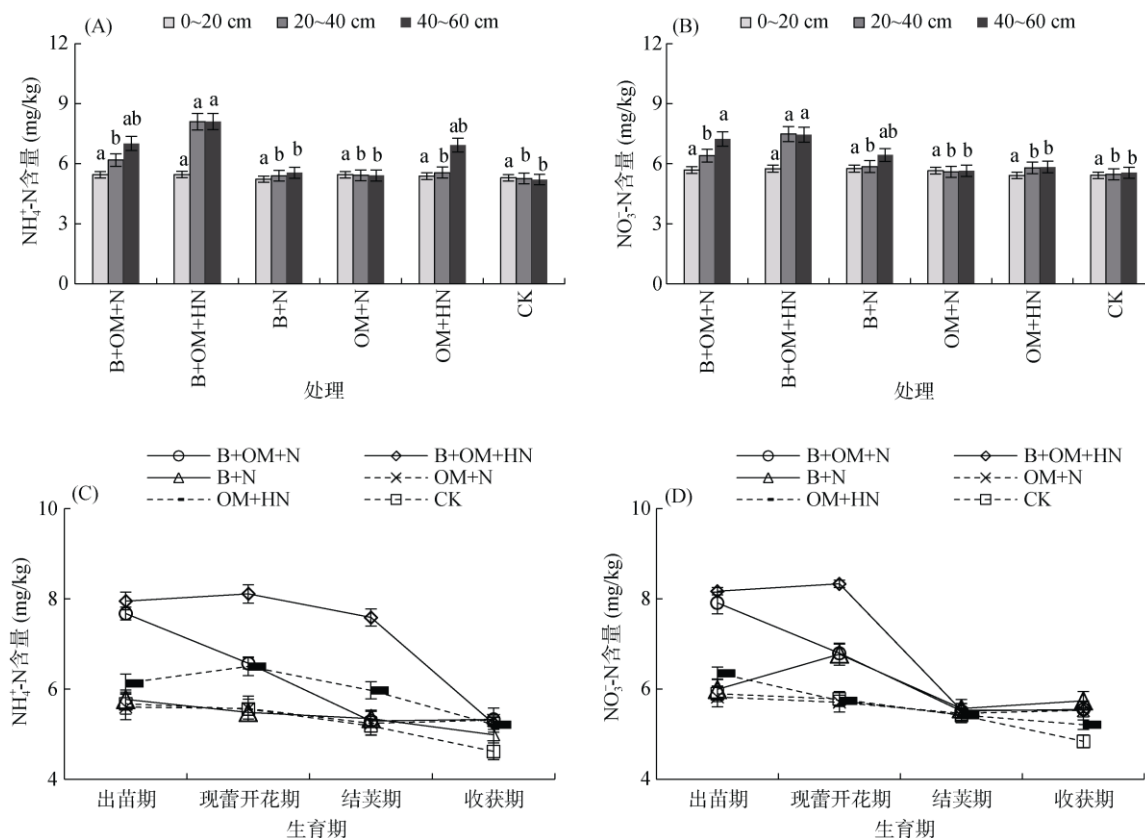
图 6 不同处理黄芪生育期 0~60 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量

Fig. 6 $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ contents in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

2.7 不同施肥处理与保水剂互作对土壤微生物生物量碳氮含量及其比值的影响

图 7A、7B、7C 分别为不同土层深度 MBC、MBN 含量及其比值, 可见, 在 0~60 cm 土层随着土层深度的增加, MBC 和 MBN 含量逐渐降低, MBC/MBN 比值先增大后减小。MBC 含量在 0~40 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN、OM+HN 处理显著高于其他处理($P<0.05$), 40~60 cm 土层 B+OM+HN 和 OM+N 处理显著高于其他处理($P<0.05$); MBN 含量在 0~

20 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN 处理显著高于其他处理($P<0.05$), 20~60 cm 土层 B+OM+N 处理显著高于其他处理($P<0.05$); MBC/MBN 比值在 0~20 cm 土层 B+OM+N、B+OM+HN 处理显著高于 CK 处理($P<0.05$), 20~40 cm 土层 B+OM+N 和 B+OM+HN 处理显著高于 B+N 和 CK 处理($P<0.05$), 40~60 cm 土层 B+OM+N 处理与 OM+N、OM+HN、CK 处理差异显著($P<0.05$)。图 7D、7E、7F 分别为 MBC、MBN 含量及其比值的动态变化, 可见, 随着黄芪生育期的

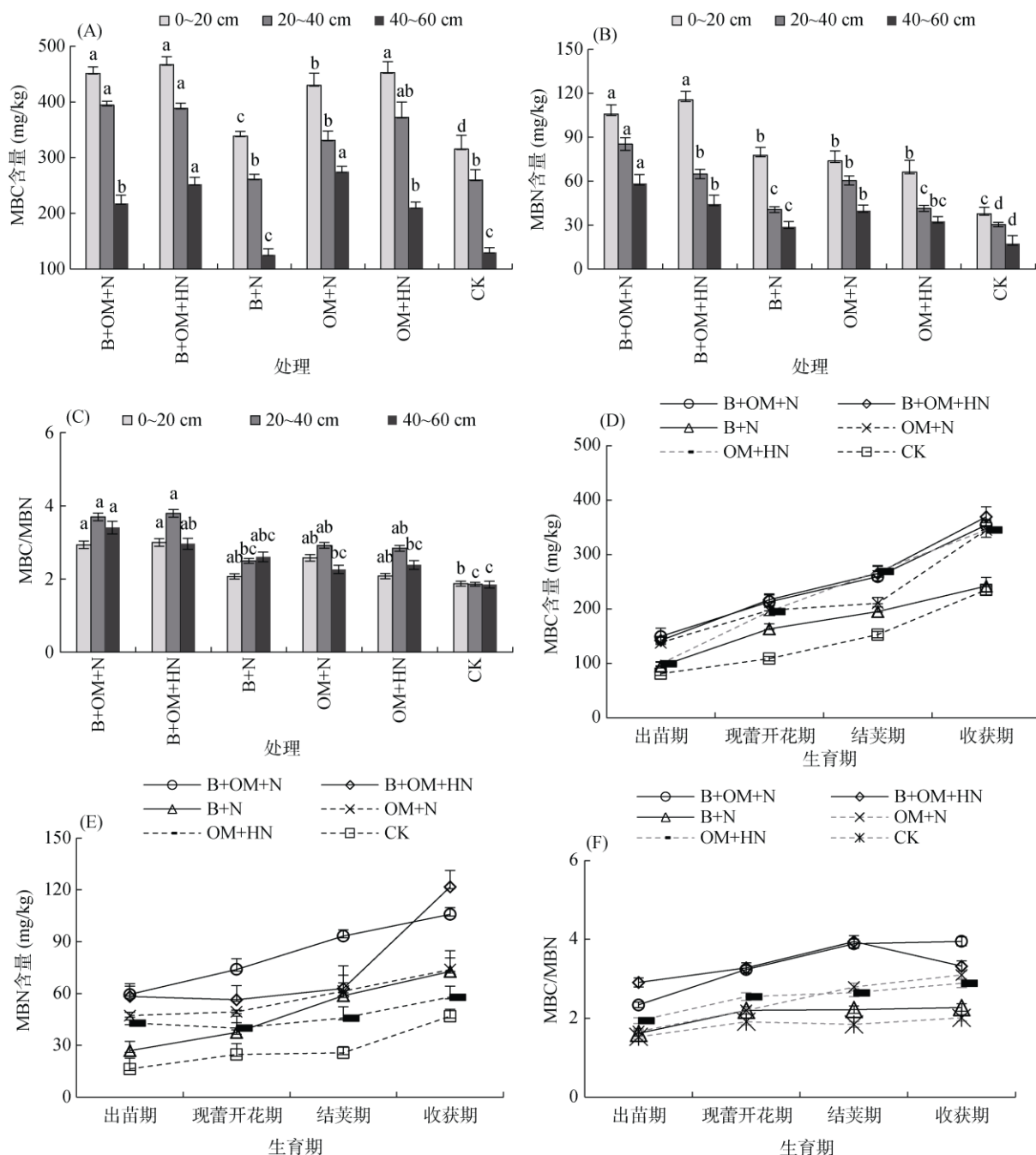


图 7 不同处理黄芪生育期 0~60 cm 土层土壤微生物生物量碳氮含量及其比值

Fig. 7 MBC, MBN, MBC/MBN in 0-60 cm soil layers during growth period of *Astragalus mongholicus* under different treatments

延长, MBC、MBN 含量及其比值逐渐增加, 施用有机肥处理的 MBC 含量和 MBC/MBN 比值高于未施用有机肥处理; 黄芪生育期后期, MBC、MBN 含量以 B+OM+HN 处理表现较高, MBC/MBN 比值以 B+OM+N 处理表现较高。不同土层深度和不同生育期 MBC/MBN 比值整体偏低, 说明黄芪土壤中有机碳缺乏严重。

2.8 黄芪土壤各化学指标与黄芪产量的相关性

根据不同施肥处理对黄芪产量指标的影响分析(表 2), B+OM+N、B+OM+HN 处理下根长和芦头直径及 B+OM+HN 处理下根鲜重显著高于其他处理($P<0.05$); B+N、OM+N、OM+HN 处理与 CK 处理

间差异显著($P<0.05$), 而其相互间差异不显著。

根据土壤含水量、有机质与养分指标的相关性分析(表 3)可知, 在不同施肥处理和保水剂互作条件下, 黄芪土壤水分含量与碱解氮、有效磷、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量呈显著正相关, 与 MBN 含量、MBC/MBN 比值呈极显著正相关; 土壤有机质与碱解氮、有效磷、MBC、MBN 含量及 MBC/MBN 比值呈极显著正相关, 与速效钾、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量呈显著正相关。土壤养分和土壤水分正相关, 说明黄芪整个生长过程有机肥配施减量缓释尿素, 与保水剂互作, 可以固持黄芪土壤水分, 增加黄芪土壤中养分含量, 提升微生物量, 改善黄芪土壤微环境。

表 2 不同施肥处理对黄芪产量指标的影响
Table 2 Effects of different fertilization treatments on yield indexes of *Astragalus mongholicus*

处理	B+OM+N	B+OM+HN	B+N	OM+N	OM+HN	CK
根长(cm)	51.64 a	50.30 a	37.00 bc	41.88 b	40.10 b	33.83 c
芦头直径(mm)	15.69 a	15.91 a	12.38 c	13.14 bc	14.47 ab	9.28 d
单株根重(g)	61.82 b	65.57 a	45.50 cd	48.93 c	49.04 c	37.59 d

注: 表中同行不同小写字母表示处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著。

表 3 土壤水分、有机质与其他养分指标的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of soil moisture, organic matter and other nutrient indexes

	碱解氮	有效磷	速效钾	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	MBC	MBN	MBC/MBN
含水量	0.895*	0.823*	0.806*	0.855*	0.693	0.798	0.974**	0.950**
有机质	0.971**	0.949**	0.865*	0.841*	0.890*	0.928**	0.933**	0.969**

注: *表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)上显著相关, **表示在 $P<0.01$ 水平(双侧)上极显著相关。

根据土壤养分指标与黄芪产量指标的相关性分析(表 4)可知, 黄芪根长、芦头直径、单株根重与各养分指标基本呈显著正相关, 其中根长与有机质、碱解氮、MBN 含量及 MBC/MBN 比值极显著正相关, 芦头直径与有机质、有效磷、速效钾、MBC 含量及 MBC/MBN 比值呈极显著正相关, 单株根重与土壤水分、有机质、速效氮磷钾、MBC、MBN 含量及 MBC/MBN 比值呈极显著正相关。可见, 黄芪产量主要受土壤水分、有机质、速效氮磷钾及微生物生物量碳氮及其比例的影响, 且随之增加而提高。

3 讨论

水分是限制作物生长发育的关键因素, 保水剂作为高分子新型吸水材料, 能较好保水蓄水, 与其他肥料配施在不同程度上可以有效提升土壤水分和养分水平^[2,4], 促使微生物生物量增加^[5], 改良土壤微环境, 促进作物生长及产量增加^[19-20]。有研究表明, 聚丙烯酸钾盐型保水剂与微生物菌剂混合可提高土壤中速效氮磷钾含量及土壤含水量^[6], 高量保水剂配施对速

效氮含量促进效果显著, 中低量配施对有效磷、速效钾含量促进最显著。也有研究发现, 不同类型保水剂、不同施用量、不同施用方式可使土壤 0~60 cm 土层土壤水分、有效磷、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、MBC、MBN 含量增加, 不同程度促进作物产量及产值^[16,20-21]。本研究表明, 施用保水剂处理土壤含水量、速效氮磷钾、

表 4 土壤养分指标与黄芪产量指标的相关性分析
Table 4 Correlation analysis between soil nutrient indexes and yield indexes of *Astragalus mongholicus*

	根长	芦头直径	单株根重
含水量	0.917*	0.975*	0.941**
有机质	0.982**	0.805**	0.937**
碱解氮	0.947**	0.856*	0.946**
有效磷	0.904*	0.784**	0.956**
速效钾	0.818*	0.800**	0.945**
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.837*	0.739	0.828*
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.822*	0.780	0.803
MBC	0.538*	0.958**	0.927**
MBN	0.844**	0.895*	0.937**
MBC/MBN	0.986**	0.923**	0.956**

MBC、MBN 含量均不同程度高于未施保水剂处理,在 0~60 cm 土层随着土层深度的增加,土壤水分含量先增加后降低,碱解氮、有效磷、速效钾、MBC、MBN 含量逐渐减少;相关性分析显示,土壤含水量对土壤养分均正向促进,与碱解氮、有效磷、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、MBN 含量及 MBC/MBN 比值显著正相关,这与前人研究结果类似。也有部分研究结果表明,保水剂施用对上层土壤影响较为显著^[2],本研究中土壤含水量在 0~20 cm 土层 B+OM+HN 与 B+OM+N 处理间差异不显著,与其他处理差异显著,20~60 cm 土层各配施处理与 CK 处理差异显著,各配施处理间差异不明显,这可能是当地受气候条件影响,未施保水剂土壤 0~20 cm 土层水分蒸发强烈,施用保水剂土壤水分被保水剂锁住蒸发较少;20~40 cm 土层土壤蒸发减弱,根系减少,水分逐渐增加;40~60 cm 土层土壤紧实,透水性减弱,水分逐渐降低。

评价土壤肥力的重要指标之一是土壤有机质含量^[22]。生物有机肥可以一定程度提高土壤有机质含量,改善土壤理化性状^[23],对作物生长具有重要的作用。本试验表明,土壤有机质含量从出苗期到现蕾开花期呈下降趋势,说明黄芪的生长对有机质的消耗从现蕾期开始增加,在开花时对有机质的吸收达到顶峰。而有机质含量从结荚期开始上升,可能是该时期黄芪对有机质的消耗减少,加之收获期花荚、叶片等衰老、掉落而被土壤微生物分解,从而提高土壤有机质。增加土壤有机质含量可显著促进土壤其他养分有效性,刘子刚等^[24]研究表明,有机物料可以显著提高土壤 20~60 cm 土层 MBC、MBN、MBP(微生物量磷)含量及 MBC/MBN 比值,且随着春玉米生育期的推进,MBC 含量呈先升后降趋势,MBN 含量呈波动式上升趋势,MBC/MBN 比值呈波动式下降趋势。化肥减量配施有机肥可以提高作物品质和产量,显著提高土壤速效钾、有机质、有效磷、MBC、MBN 和微生物熵^[8,11-12]。本研究结果显示,与 CK 处理相比较,施用有机肥处理均可显著提高黄芪土壤 40~60 cm 土层土壤水分含量、0~40 cm 土层有机质含量及 0~60 cm 土层速效氮磷钾含量及 MBC、MBN 含量及其比值;随着土层深度的加深,MBC、MBN 含量逐渐降低,MBC/MBN 比值先增大后减小,且随着黄芪生育期的延长,MBC、MBN 含量及其比值呈上升趋势。这一结论与李炳韵等^[8]、张云伟等^[9]、唐海明等^[10]研究配施有机肥对双季水稻、菠萝、烤烟土壤的影响类似。

缓释氮肥与普通氮肥相比较,可延缓氮素释放,

提升氮肥利用率,增加作物产量^[25-26]。牛聪聪^[27]研究发现,减量 50% 氮肥基础上控释尿素配施生物肥对甜瓜品质、单株产量及土壤微生物量的提高表现较好。彭强等^[17]在大棚甜椒上减氮 30% 施用缓释氮肥,增加了 0~60 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量,对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量影响不大。董亮等^[28]研究发现,减氮 30%~40% 施用控释肥各土层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量最低。本研究在减氮 1/3 基础上配施缓释尿素与凹土棒有机肥发现,OM+HN 与 OM+N 处理相比,增加了黄芪土壤 40~60 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量,0~60 cm 土层 MBC 含量,对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量无显著影响;但与保水剂互作的 B+OM+N 和 B+OM+HN 处理显著增加了 0~20 cm 土层含水量、40~60 cm 土层有机质含量、20~40 cm 土层 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量、40~60 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量及 40~60 cm 土层 MBC 含量;随着土层深度增加,B+OM+N 和 B+OM+HN 处理下 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 逐渐累积,同时随着黄芪生育期的延长呈先升后降的趋势;但是在生育期后期 B+OM+HN 处理土壤各养分含量均高于 B+OM+N 处理,且黄芪芦头直径和单株根重以 B+OM+HN 处理表现最高。此研究结果与前人研究不太一致^[27-28],可能与缓释肥施用量、施用方式、配施方式等施肥因素及不同土壤环境有关。土壤养分与黄芪产量指标相关性分析显示,土壤养分正向促进黄芪根长、芦头直径、单株根重,增加黄芪产量。

4 结论

本研究通过 2 年连续定位施肥试验发现,减氮 1/3 施用缓释尿素、凹土棒有机肥、保水剂可不同程度提升土壤养分水平,增加微生物生物量,三者配施可整体提升土壤水分、有机质、速效氮磷钾、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、MBC、MBN 含量及 MBC/MBN 比值和黄芪产量。土壤含水量和有机质含量对土壤其他养分有正向促进作用,土壤养分指标对黄芪产量指标具有正向改良作用。从土壤养分肥力水平、土壤环境污染及经济效益角度出发,在减氮 1/3 基础上配施缓释尿素、凹土棒有机肥与保水剂(B+OM+HN)的施肥模式可以促进河西地区黄芪土壤养分肥力增加,改善黄芪土壤微环境,进而提升黄芪产量,促进黄芪可持续生产。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部:2020 年版[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [2] 徐露,张丹,向宇国,等. 生物炭和保水剂施用对凉山州紫色土理化性质及水分特征的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(4):777-783.

- [3] 周客, 王利书, 程东娟, 等. 保水剂对土壤水分运移和水吸力变化的影响[J]. 节水灌溉, 2021(2): 52–57.
- [4] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 19–26.
- [5] 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土壤微生物生物量碳、氮含量及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 361–368.
- [6] 宋双双, 孙保平, 张建锋, 等. 保水剂与微生物菌剂对土壤水分、养分的影响[J]. 干旱区研究, 2018, 35(4): 761–769.
- [7] 李莎莎, 杨翌, 李红, 等. 有机肥与化肥配施对紫花苜蓿产量、品质和土壤理化性质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(10): 109–113.
- [8] 李炳韵, 程云飞, 唐浩真, 等. 配施生物有机肥与无机肥对连作菠萝土壤的影响[J]. 热带生物学报, 2021, 12(2): 192–201.
- [9] 张云伟, 徐智, 汤利, 等. 生物有机肥对烤烟黑胥病及根际微生物代谢功能多样性的影响[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(5): 59–65, 72.
- [10] 唐海明, 李超, 肖小平, 等. 有机肥氮投入比例对双季稻田根际土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1335–1343.
- [11] 徐苗, 何文寿, 马琨. 化肥有机肥配施对油菜产量及品质的影响[J]. 作物杂志, 2017(5): 129–135.
- [12] 安祥瑞, 江尚焄, 李焕苓, 等. 减施化肥配施有机肥对荔枝生长、产量品质及肥料利用率的影响[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1174–1184.
- [13] 刘兆辉, 吴小宾, 谭德水, 等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3827–3839.
- [14] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 307–316.
- [15] 胡迎春, 韩云良, 施成晓, 等. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米氮素利用和产量效益的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1068–1078.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 彭强, 李絮花, 王克安, 等. 减量控释氮肥对大棚甜椒产量及土壤硝态氮、铵态氮分布的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 106–110.
- [18] 李倩, 巴图, 李玉龙, 等. 保水剂施用方式对土壤含水量和微生物生物量及马铃薯产量的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(10): 1453–1460.
- [19] 王荣莲, 莫彦, 王富贵, 等. 保水剂主要特性及对土壤和作物影响的研究进展[J]. 节水灌溉, 2021(12): 75–80.
- [20] 白岗栓, 何登峰, 耿伟, 等. 不同保水剂对土壤特性及烤烟生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(10): 31–43.
- [21] 李倩, 巴图, 刘景辉, 等. 保水剂施用方式对土壤酶活性及马铃薯产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 116–122.
- [22] Guo J M, Wang Y H, Blaylock A D, et al. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding ($>15 \text{ Mg ha}^{-1}$) maize[J]. Field Crops Research, 2017, 204: 23–30.
- [23] 周泉, 陈娇, 石超, 等. 秸秆覆盖下油菜间作紫云英的土壤微环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 193–199.
- [24] 刘子刚, 卢海博, 赵海超, 等. 旱作区春玉米秸秆还田方式对土壤微生物量碳氮磷及酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2022, 31(2): 183–192.
- [25] 徐扬, 刘引, 彭政, 等. 化肥减量配施有机肥对药用菊花产量、品质和药理活性的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(8): 2800–2808.
- [26] 侯云鹏, 李前, 孔丽丽, 等. 不同缓/控释氮肥对春玉米氮素吸收利用、土壤无机氮变化及氮平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3928–3940.
- [27] 牛聪聪. 普通、控释尿素施用量对薄皮甜瓜生长和土壤微环境的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [28] 董亮, 张玉凤, 刘苹, 等. 控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(6): 86–89.