文章编号:1000-7601(2022)05-0222-08　　**doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2022.05.24

不同残膜量对棉田土壤氮素、八大离子含量及微生物的影响

李玉环[1,2],何新林[1,2],杨丽莉[1,2],王禹植[1,2],徐　阳[1,2]

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832000;2.石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘　要:通过田间试验,设置 150 kg·hm^{-2}(T1)、230 kg·hm^{-2}(T2)、465 kg·hm^{-2}(T3),857 kg·hm^{-2}(T4)、1 250 kg·hm^{-2}(T5)、1 640 kg·hm^{-2}(T6)以及原位土 512 kg·hm^{-2}(CK1)和无残膜(CK2)等 8 个残膜梯度,测定不同残膜量下棉田土壤氮素养分、八大离子含量、微生物群落多样性等指标。结果表明:随着残膜量的增加,土壤 TN、NO_3^--N 含量逐渐降低,而 NH_4^+-N 含量则呈现先升高后降低趋势;在残膜量大于 512 kg·hm^{-2}时,土壤 NO_3^--N、NH_4^+-N 含量显著降低;在高残膜量 1 640 kg·hm^{-2}(T6)时,土壤 TN、NO_3^--N、NH_4^+-N 含量较 CK2 分别降低 38.77%、49.21%、34.38%;土壤 Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^-、CO_3^{2-}、K^+含量随着残膜量的增多逐渐积聚在 0~20 cm 土层;当残膜量大于 512 kg·hm^{-2}时,土壤微生物均匀度及多样性低于 T1、T2、T3 和 CK2 处理。可见残膜影响土壤微生物活性,导致盐分浅表积累,使土壤养分退化;因此,高强度残膜不利于农业的健康发展。

关键词:残膜量;棉田;氮素;微生物;盐离子

中图分类号:S562;S158;X53　　**文献标志码**:A

Effects of different amounts of residual film on soil nitrogen, eight major ions content and microorganisms in cotton field

LI Yuhuan[1,2], HE Xinlin[1,2], YANG Lili[1,2], WANG Yuzhi[1,2], XU Yang[1,2]

(1. *College of Water Resources and Architectural Engineering*, *Shihezi University*, *Shihezi*, *Xinjiang* 832000, *China*; 2. *Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production and Construction Corps*, *Shihezi University*, *Shihezi*, *Xinjiang* 832000, *China*)

Abstract: Through field test, eight ions and microorganisms, eight residual film gradients of 150 kg·hm^{-2}(T1),230 kg·hm^{-2}(T2),465 kg·hm^{-2}(T3),857 kg·hm^{-2}(T4),1 250 kg·hm^{-2}(T5),1 640 kg·hm^{-2}(T6), in situ soil 512 kg·hm^{-2}(CK1) and no plastic film residue were set up to determine soil nitrogen, eight major ions content, microbial community diversity and other indicators.The results showed that with the increase of residual film amount, soil TN and NO_3^--N content decreased gradually, while NH_4^+-N content increased first and then decreased. When the amount of residual film was more than 512 kg·hm^{-2}, the contents of NO_3^--N and NH_4^+-N content decreased significantly. Compared with CK2, the contents of TN, NO_3^--N and NH_4^+-N decreased by 38.77%, 49.21% and 34.38% respectively under the condition of high residual film amount of 1 640 kg·hm^{-2}(T6). With the increase of residual film amount, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-},HCO_3^-, CO_3^{2-}, K^+gradually accumulated in 0~20 cm soil layer. When the residual film amount was more than 512 kg·hm^{-2}, the soil microbial evenness and diversity were lower than those of treatment T1, T2, T3 and CK2. In conclusion, it is clear that the residual film affects the activity of soil microorganisms and led to the shallow accumulation of salt and the degradation of soil nutrients. Therefore, high-strength residual film is not conducive to healthy development of agriculture.

Keywords: residue amount film; cotton field; nitrogen; microorganism; salt ion

收稿日期:2021-06-29　　**修回日期**:2021-09-27

基金项目:国家自然科学基金(U1803244);新疆生产建设兵团科技攻关计划项目(2018AB027)

作者简介:李玉环(1997-),女,青海湟源人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: 2529393948@qq.com

通信作者:何新林(1966-),男,宁夏隆德人,教授,主要从事水文水资源及农业水资源高效利用研究。E-mail:hexinlin2002@163.com

地膜覆盖技术于 20 世纪 70 年代末引入中国，对提高农民收益和促进农业发展产生了重大影响[1-2]。由于塑料薄膜覆盖具有增温、保温、保水、保持养分、增加光能利用率和防病、虫、草等作用，可促进作物生长，使作物产量在干旱地区得以增长，品质得到改善，因此其发展非常迅速[3-6]。然而随着地膜覆盖技术的广泛应用，一些问题也困扰着人们。地膜使用年限的增加及地膜回收效率的低下造成土壤中残膜逐渐积累并严重影响了土壤环境，从而影响作物根系对养分的吸收，抑制其正常生长发育，降低作物产量，最终将阻碍农业发展[7]。针对残膜对农田作物的影响国内外学者已做了大量研究，有研究表明残留地膜会改变土壤结构，进而影响土壤水分在土层中分布的均匀性，使土壤水分运移速度减缓、各土层土壤含水量存在较大差异[8]，残膜使土壤孔隙度下降，导致土壤容重增加、透气性变差，影响农田土壤与外界空气的正常循环和交换[9]；刘建国等[10]研究表明残膜对土壤微生物活性有着明显的影响，而土壤微生物是土壤营养和能量循环与交换的关键因子，对土壤肥力的维持和改善起着至关重要的作用[11]。张丹等[2]研究认为农田土壤中残膜量小于 300 kg · hm^{-2}时可通过保水作用提高土壤微生物活性及其丰度，而当残膜量大于 450 kg · hm^{-2}时，土壤微生物量、微生物群落丰度和土壤酶活性显著降低。高维常等[12]研究表明残膜的逐渐累积阻碍土壤养分运移，NO_3^--N 和 NH_4^+-N 的运移能力明显减弱，制约烤烟正常的生长发育。王亮等[13]研究结果表明残膜量增加抑制作物对养分的吸收，影响作物生物量的积累。黄璐[14]通过设置 4 个残膜梯度发现，残膜量对土壤水分、SOM、TN、TP、Olsen-P 没有显著影响，与对照组相比掺加残膜土壤的细菌多样性有所降低，而真菌多样性无显著变化。常芳红[15]认为当残膜量大于 900 kg · hm^{-2}时，土壤水分入渗受到抑制，土壤中有机质、水解氮、速效磷和速效钾含量随着残膜量的增加均有所下降，阻碍了玉米生物量的积累，降低玉米产量。

虽然前人已对残膜的危害有了一定的认识，然而目前残膜对土壤养分及微生物的影响研究较少，尤其不同残膜强度对土壤微生物特征的影响研究鲜有报道，在残膜添加量对养分和微生物影响方面的研究结果并不一致，且不同区域结果差异较大，需要针对不同条件具体研究。新疆地处中国西北干旱地区，为了提高农业收益，很多地区均采用地膜覆盖种植，成为全国残膜污染最为严重的区域之一，残膜污染问题也最具有代表性。本研究拟设置不同残膜强度，分析残膜对新疆棉田土壤氮素养分、八大离子含量以及土壤微生物的影响，为残膜污染防治提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于新疆石河子市试验场二连石河子大学节水灌溉实验站进行。该站中心位置位于东经 85°59′47″，北纬 44°19′28″，海拔 412 m，平均地面坡度为 6‰。多年平均降雨量为 207 mm，平均蒸发量为 1 660 mm。试验田地下水埋深大于 5 m，土壤质地为中壤土，粘粒含量（粒径<0.01 mm）大于 20%。试验前采集 0～40 cm 土壤测定土壤理化性质，如表 1 所示。

1.2　试验设计

课题组前期研究发现，在多年连续覆膜条件下，残膜量 M_f（kg · hm^{-2}）与残膜年限 X（a）之间存在线性关系：$M_f = 15.69X + 72.54$。根据该研究结果，设置 8 个残膜量梯度，即 150 kg · hm^{-2}（T1，覆膜年限为 5 a）、230 kg · hm^{-2}（T2，覆膜年限为 10 a）、465 kg · hm^{-2}（T3，覆膜年限为 25 a）、512 kg · hm^{-2}（CK1，覆膜年限为 28 a）、857 kg · hm^{-2}（T4，覆膜年限为 50 a）、1 250 kg · hm^{-2}（T5，覆膜年限为 75 a）、1 640 kg · hm^{-2}（T6，覆膜年限为 100 a）、0 kg · hm^{-2}（CK2，覆膜年限为 0 a）；分析不同残膜量对棉田土壤氮素养分、八大离子含量及微生物的影响。

每个处理中设置 3 个微小区，作为试验的 3 次重复，小区面积为 1.45 m×8.1 m。试验所用地膜均

表 1　供试土壤理化性质

Table 1　Soil physical and chemical properties of the experimental soils

土层深度 Soil depth /cm	全氮 Total nitrogen /(g · kg^{-1})	全磷 Total phosphorus /(g · kg^{-1})	全钾 Total potassium /(g · kg^{-1})	速效磷 Available phosphorus /(g · kg^{-1})	速效钾 Available potassium /(g · kg^{-1})	田间持水率 Field water holding capacity /(g · kg^{-1})
0～20	0.76	0.96	7.86	31.54	425.68	20.11
20～40	0.88	0.93	8.21	28.76	409.21	20.35

为新疆天业公司生产，厚度 0.008 mm，为高分子有机聚合物材料，其分子结构稳定，在自然条件下很难降解，降解周期为 200~400 a，很难与土壤发生反应[16]。经过调查，研究区残留地膜主要集中在 0~40 cm 土层，其中残膜面积为 4 cm^2 及以下的数量最多，占总量的 80%以上，残膜单片面积越大，其残膜数量越少，0~10 cm、10~30 cm 和 30~40 cm 土层残膜所占比率分别约为 29%、60%和 11%[17]。试验前将地里残留的地膜捡拾干净，0~10、10~30 cm 和 30~40 cm 土层按 3∶6∶1 的比例将人工剪碎的残膜(2 cm×2 cm)均匀混入土壤中。处理之间埋设 50 cm 深度的防水帆布，以消除各处理之间水肥及作物根系缠绕的影响。

残膜量与覆膜年限的线性关系及残膜分布特征由课题组于 2019 年 7 月—2020 年 2 月在玛纳斯流域取样测得，该流域棉田归属兵团下属团场统一管理，连续覆膜种植棉花，灌水施肥制度相同，农艺措施、种植方式和地膜回收情况均一致；人工裁剪的地膜在 2020 年 3 月掺入大田，4 月播种，并于 2020 年 10 月收获。种植棉花品种为‘东盛 1442 号’，种植模式如图 1 所示(见 227 页)。采用膜下滴灌一膜两管四行的种植模式，膜宽1.6 m，行间 60 cm，膜间 30 cm。所有处理施肥量与灌水量取同一水平，在生长期间分别追施铵态氮肥 72 kg·hm^{-2} 和尿素 200 kg·hm^{-2}。每株棉花在花铃期打顶，其他管理措施与当地常规方法相同。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤采样　土样采集方法：由于棉花花铃期是棉花生长发育最旺盛的时期，是棉花生长周期中需肥、需水最多的时期，棉株逐渐由营养生长与生殖生长并进转向以生殖生长为主，边长茎、枝、叶，边现蕾、开花、结铃，需肥量占生长期总需肥量的 50%以上，需水量占总需水量的 45%~65%，所以分析花铃期不同残膜量对养分、微生物及八大离子的影响可优化不同覆膜年限棉田的灌水施肥策略。于棉花花铃期，分别于灌水后 1、3、5 d 在每个处理中选取 5 个样点，用直径 8 cm 的土钻纵向每 10 cm 采集土样，并将 5 个样品均匀混合，取土总深度为 40 cm。将土样带回实验室，过 2 mm 筛，并在 7 d 内测定土壤铵态氮（NH_4^+-N）、硝态氮（NO_3^--N）、全氮(TN)及八大离子含量等指标；取适量土样均匀混合放于无菌离心管中立即带回实验室并保存于-80℃冰箱中待测土壤微生物。

1.3.2 土壤养分含量的测定　土壤养分含量的测定依据杨剑虹等和鲍士旦[18-19]的方法进行，采用浓硫酸消煮-水杨酸法测定总氮(TN)含量，采用硫酸肼还原法测定 NO_3^--N 含量，在碱性条件下通过靛酚蓝比色法测定 NH_4^+-N 含量。

1.3.3 土壤八大离子含量测定　CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量采用双指示剂-中和滴定法测定，Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量分别采用硝酸银滴定法和 EDTA 间接络合滴定法测定；K^+ 和 Na^+ 含量采用火焰光度法测定，Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量采用 EDTA 滴定法测定[20]。

1.3.4 土壤微生物测定　细菌核糖体编码基因相应区段的扩增及测序由诺禾致源生物信息公司完成。试验流程包括：样品准备(采用 CTAB 法提取 DNA)、DNA 提取与检测(使用琼脂糖凝胶电泳检测提取出的 DNA 纯度和浓度；随后取适量 DNA 于离心管中，并用无菌水稀释至 1 ng·μl^{-1})、PCR 扩增(使用带 barcode 的特异性引物、New England Biolabs 公司的 Phusion® High-Fidelity PCR Master Mix with GC Buffer 和高效高保真酶进行 PCR)、产物纯化(PCR 产物用 2%浓度的琼脂糖凝胶电泳进行检测，对目的条带使用 Qiagen 公司提供的胶回收试剂盒进行回收)。文库制备与库检(使用TruSeq® DNA PCR-Free Sample Preparation Kit 建库试剂盒进行文库构建)、NovaSeq 上机测序[21]。

1.4 数据处理与分析

使用 Excel 2016 处理相关试验数据，用 Origin 9.0 作图，采用 SPSS 26 进行养分含量差异性分析；使用 Mothur 软件将 ASVs 与数据库比对从而得到每个 ASV 的物种信息。使用 QIIME2 软件计算分析样品的 Alpha 多样性，包括 Chao1 指数、Observed species 指数、Shannon 指数、Simpson 指数及组间群落结构差异性。

2 结果与分析

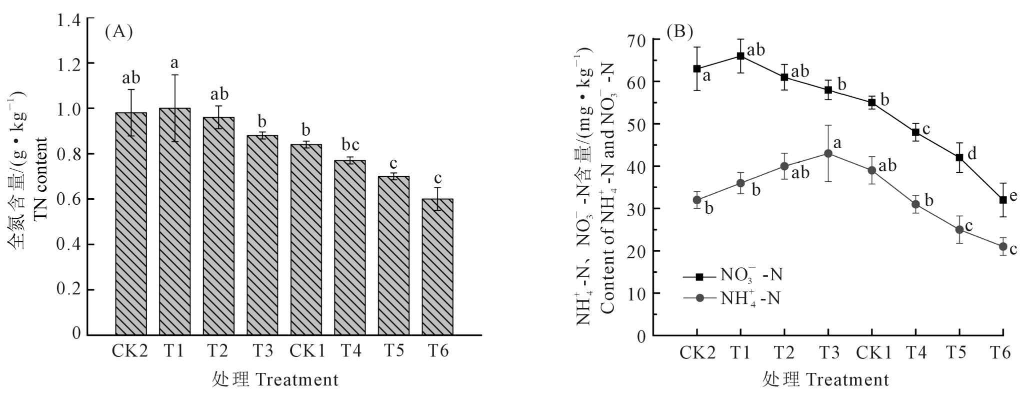
2.1 不同残膜量对土壤氮素含量的影响

试验结果表明，不同残膜量对 0~40 cm 土层土壤养分含量的影响较大，随着残膜量的增加，各养分变化趋势不同。由图 2A 可以看出，残膜量显著影响土壤全氮含量(P<0.05)，随着残膜量的增加，土壤 TN 含量逐渐降低。T5 处理中 TN 含量为 0.7 g·kg^{-1}，较 CK2 处理降低了 28.57%，达到显著水平(P<0.05)。T6 处理土壤 TN 含量最低，为 0.6 g·kg^{-1}，比 CK2 处理降低 38.77%。由图 2B 可以看出，NH_4^+-N 含量随残膜量的增加表现为先增加后减小的趋势，T3 处理 NH_4^+-N 含量最大，为 43 mg·kg^{-1}，随后 NH_4^+-N 含量逐渐减小，T6 处理最小，为 21 mg·kg^{-1}；T4、T5 及 T6 处理中，NH_4^+-N 含量减少幅度大，且 T5、T6 处理 NH_4^+-N 含量显著低于其他处理

($P<0.05$)，相比 CK2 处理分别减少 21.87% 和 34.38%。土壤中 NO_3^--N 含量表现为随着残膜量的增加逐渐减小，T1 处理 NO_3^--N 含量最大，为 66 mg·kg^{-1}，T2、T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理 NO_3^--N 含量较 CK2 分别减少 3.17%、7.94%、12.69%、23.81%、33.33%和 49.21%，T5、T6 处理 NO_3^--N 含量显著低于其他处理($P<0.05$)。

2.2　不同残膜量对土壤八大离子含量的影响

研究表明，棉田 0~20 cm 土层盐分变化主要集中于棉花盛铃期[22]，所以本研究以花铃期为例。由图 3 可知，随着残膜量的增加，各离子含量逐渐增加。土壤中 Ca^{2+}、Na^+、SO_4^{2-}、CO_3^{2-} 含量较多，而 HCO_3^-、Cl^-、K^+、Mg^{2+}含量较少；对阳离子而言，随着残膜量的增加，Ca^{2+} 含量上升幅度较大，最大值为 1.02 g·kg^{-1}，Na^+含量次之，其中 T3 处理 Na^+含量略有降低；K^+和 Mg^{2+}增加幅度则较小。对阴离子而言，SO_4^{2-}含量最高，T6 处理 SO_4^{2-}含量高达 3.65 g·kg^{-1}，其中 T2 处理 SO_4^{2-}含量有所下降；HCO_3^-含量和 CO_3^{2-}含量同样在 T6 处理时达到最大，分别为 1.26 g·kg^{-1}和 2.46 g·kg^{-1}，Cl^-含量最少，在 T6 处理时含量为0.55 g·kg^{-1}。CK2、T1、T2、T3、CK1、T4、T5、T6 处理中 Na^+含量分别为 0.63、0.75、0.78、0.73 、0.80、0.86、0.87、0.90 g·kg^{-1}；Ca^{2+}含量分别为 0.73、0.78、0.83、0.86、0.87、0.96、0.98、1.02 g·kg^{-1}；SO_4^{2-}含量分别为 2.75、2.87、2.62、3.03、3.29、3.31、3.52、3.65 g·kg^{-1}；CO_3^{2-}含量分别为 1.89、1.93、2.02、2.18、2.32、2.41、2.43、2.46 g·kg^{-1}；HCO_3^-含量分别为 0.66、0.71、0.77、0.87、0.9、1.08、1.13、1.26 g·kg^{-1}；Cl^-含量分别为 0.32、0.45、0.46、0.44、0.48、0.45、0.53、0.55 g·kg^{-1}；K^{+-}含量分别为 0.18、0.21、0.20、0.22、0.21、0.20、0.27、0.30 g·kg^{-1}；Mg^{2+}含量分别为 0.10、0.09、0.12、0.15、0.13、0.15、0.17、0.18 g·kg^{-1}。



注：图中不同字母代表处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters in the figure represent differences between treatments ($P<0.05$).

图 2　不同残膜量对 0~40 cm 土层全氮、铵态氮以及硝态氮含量的影响

Fig.2　Effects of different amounts of residual film on the content of TN, NH_4^+-N and NO_3^--N in 0~40 cm soil layers

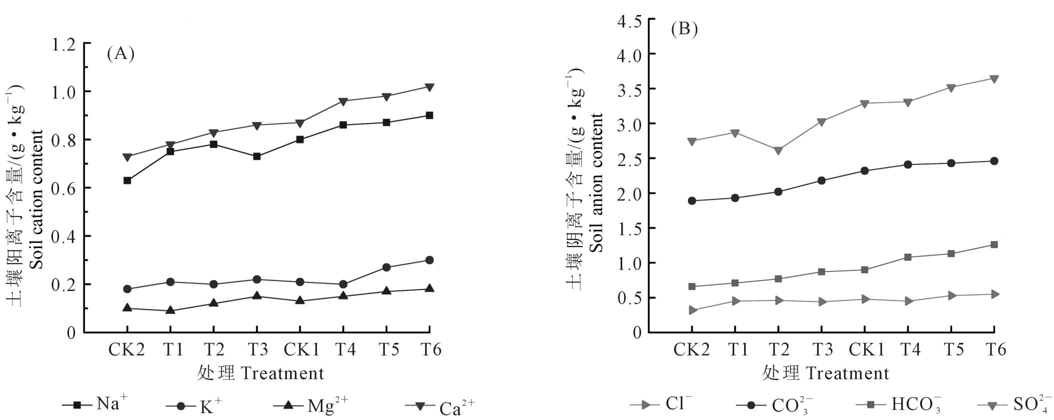


图 3　不同残膜量对 0~20 cm 土层八大离子含量的影响

Fig.3　Effects of different amounts of residual film on the content of eight major ions in 0~20 cm soil layers

2.3 不同残膜量对土壤微生物的影响

2.3.1 土壤微生物 Alpha 多样性分析 Alpha 多样性指数是反映微生物丰富度和均匀度的指标，各处理 Alpha 多样性指数如表 2 所示。Chao1 表征估计样品中包含的物种总数；Observed species 表征直观观测到的物种数目；Shannon 表征群落的丰富度和均匀度；Simpson 表征群落内物种分布的多样性和均匀度。不同残膜量处理 OTUs 数(根据不同的相似度水平，对所有序列进行 OTU 划分，对 97%相似水平下的 OTU 进行生物信息统计分析)。

表 2 不同残膜量下 0~40 cm 土层土壤微生物 Alpha 多样性指数统计

Table 2 Statistics of soil microbial Alpha diversity index in 0~40 cm soil layers under different residual film amounts

处理 Treatment	Chao1	观察到的物种 Observed species	Shannon	Simpson
CK2	2469	2133	8.791	0.968
T1	2633	2247	8.985	0.975
T2	2689	2380	8.857	0.952
T3	2568	2217	8.855	0.923
CK1	2570	2240	8.934	0.901
T4	2346	2019	8.256	0.859
T5	1989	1870	8.023	0.866
T6	1877	1652	7.689	0.854

由表 2 可知，相较于对照组 CK2，T1、T2、T3、CK1 处理的微生物 Chao1 指数和 Observed species 指数都有所增大，Shannon 指数在残膜量为 512 kg·hm^{-2}(CK1)以下时，较 CK2 处理高，当残膜量大于 512 kg·hm^{-2}(CK1)时，各处理 Shannon 指数低于 CK2 处理，T4、T5、T6 处理 Shannon 指数比 CK2 处理分别低 6.09%、8.74%、12.54%。Simpson 指数除 T1 处理比对照组 CK2 高 0.72%以外，其他处理 Simpson 指数都比对照组 CK2 低。

2.3.2 土壤细菌群落物种组成分析 为探寻各处理之间门(Phylum)水平上优势物种的差异，选取每 3 个样本(组)中平均丰度排名前 10 的物种，即变形菌门(Proteobacteria)、酸杆菌门(Acidobacteriota)、不明细菌门(Unidentified-bacteria)、放线杆菌门(Actinobacteriota)、厚壁菌门(Firmicutes)、类杆菌门(Bacteroidota)、泉古菌门(Crenarchaeota)、蓝细菌门(Cyanobacteria)、粘球菌门(Myxococcota)、绿弯菌门(Chloroflexi)，绘制三元相图(图 4)。由图 4 可知，0~40 cm 土层中变形菌门(Proteobacteria)和不明细菌门(Unidentified-bacteria)在各处理中数量最多(50%以上)；CK2 处理中厚壁菌门(Firmicutes)、放线杆菌门(Actinobacteriota)和泉古菌门(Crenarchaeota)数量较多，其余优势菌门则主要分布在 T1 处理中；CK1 处理中厚壁菌门(Firmicutes)和类杆菌门(Bacteroidota)数量较多，其余优势菌门在 T3、T4 和 CK1 处理中分布较均匀；由图 4C 可知，各优势菌门主要集中在 T4 处理(857 kg·hm^{-2})。

3 讨 论

残膜量增加会显著影响 0~40 cm 土层土壤氮素养分含量。当残膜量在 0~465 kg·hm^{-2}时，土壤 NH_4^+-N 含量逐渐增大，当残膜量在 465~1640 kg·hm^{-2}时逐渐减小，且当残膜量大于 CK1(512 kg·hm^{-2})时，各处理 NH_4^+-N 含量差异显著，残膜量为 465 kg·hm^{-2}的处理土壤 NH_4^+-N 含量最高，达到 43 mg·kg^{-1}，而 TN 和 NO_3^--N 含量在残膜量为 150 kg·hm^{-2}时达到最大，分别为 1 g·kg^{-1}和 66 mg·kg^{-1}，分析认为适量的残膜存在可使土壤中的水分含量增多，有利于提高土壤中相关酶的活性[23]，从而促进硝化作用。当残膜量超过 512 kg·hm^{-2}时，土壤 NH_4^+-N、NO_3^--N 和 TN 含量均显著降低($P<0.05$)，分析认为高残膜量会影响土壤中微生物的代谢速率，阻碍微生物(如酸杆菌门)对有机质的分解，抑制其对养分的合成与释放，从而使硝酸盐和铵态氮等含量降低；其次，高强度残膜会阻挡土壤与外界水、热、气的交换循环，使土壤孔隙度降低，影响土壤的透气性[24]，在缺氧情况下，反硝化细菌容易发生反硝化反应，释放出的分子态氮或 N_2O 不利于 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的合成；再者，土壤酶可以促进氮素循环[25]，高强度残膜使土壤酶活性受到抑制[26]，进而影响养分的转化，致使 TN 的合成减少。

土壤中 Na^+、Ca^{2+}、SO_4^{2-}、CO_3^{2-}含量较多，分别较对照组 CK2 增加 19.05%~42.86%、6.85%~39.73%、4.36%~32.73%和 2.17%~30.16%，HCO_3^-、Cl^-、K^+、Mg^{2+}在土壤中的含量较少。Cl^-、SO_4^{2-}、Na^+和 Ca^{2+}是影响土壤次生盐渍化的主要离子[27]。花铃期各离子都表现出在土层 0~20 cm 聚集的趋势，随着残膜量的增加，聚集在 0~20 cm 土层的离子增多，这一结论与吴凤全等[28]的试验结果较为一致。究其原因认为，残膜量的增加改变了土壤结构，降低孔隙度，导致土壤水盐运移受阻，致使水盐滞留在土壤表层残膜之上，滞留水分由于蒸散发而耗散，使浅表层土壤盐分增多，而盐分离子与土壤胶体颗粒间发生物理化学变化，改变土壤结构，最终造成棉田土壤浅层盐分离子积累[29]。

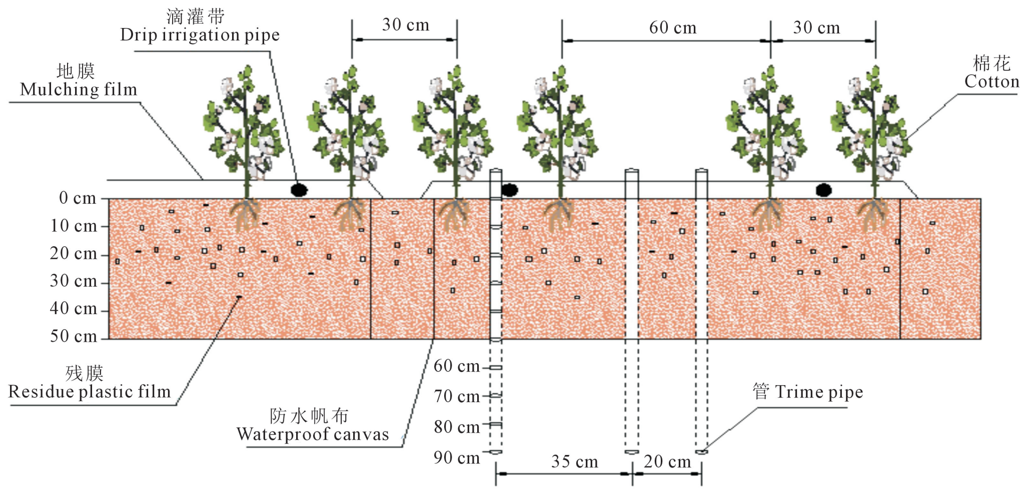
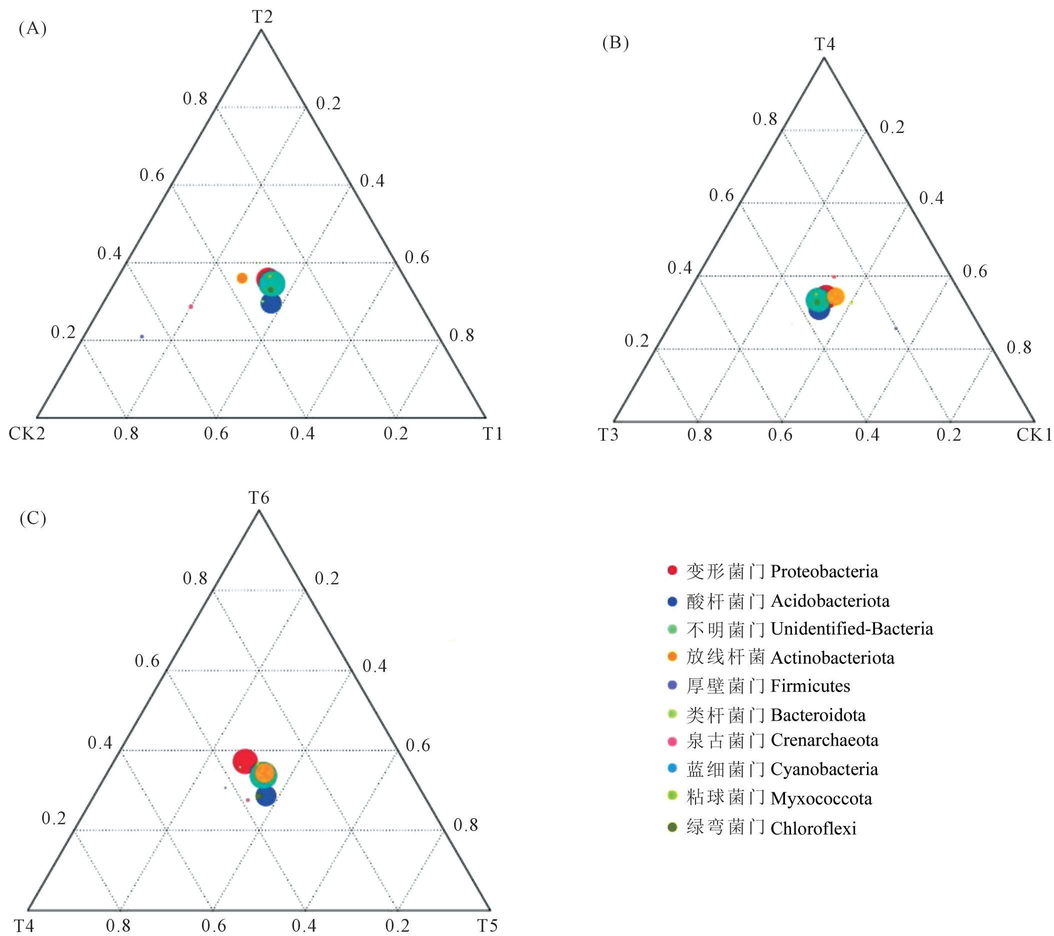


图 1　棉花种植模式示意图

Fig.1　Schematic diagram of cotton planting pattern



注:各图中的 3 个顶点分别代表 3 个不同梯度的残膜处理;圆圈越大,物种相对丰度越大,反之物种相对丰度越小;圆圈离某个顶点的距离越接近,则表示该圆圈所代表的物种在这个处理中含量越高。

Note: The three vertices in each figure represent the residual film treatment with three diferent gradients. The larger the circle, the greater the relative abundance of species, and conversely, the smaller the relative abundance of species. The closer the circle is to a vertex, the higher the content of the species represented by the circle in this treatment.

图 4　门水平下不同残膜量处理的优势物种分布

Fig.4　Distribution of dominant species under different residual film treatments at the phylum level

农田中高残膜强度会显著影响微生物含量,改变其群落结构及均匀性。土壤微生物是土壤生态系统中物质循环和能量流动的关键组成部分,对土壤中有机质分解和养分转化具有重要作用[30],是衡量土壤肥力的重要指标[31]。对0~40 cm土层土壤微生物群落分析可知,当残膜量大于512 kg·hm^{-2},土壤中Chao1和Simpson指数明显降低,T4、T5、T6处理中Shannon指数比CK2处理降低6.09%~12.54%,T5、T6处理的优势物种数也明显低于其他处理,张丹等[2]研究结果同样表明当残膜量超过450 kg·hm^{-2}时,土壤微生物量、土壤纤维素酶、木聚糖酶以及几丁质酶等参与有机质分解的土壤酶活性显著降低。其原因可能是高残膜强度通过减小土壤孔隙率和降低土壤含氧量抑制了放线菌门等好氧微生物的活性[32],阻碍了好氧微生物正常的新陈代谢,同时阻碍了优势物种酸杆菌门等的物质循环,降低了微生物的丰富度及多样性;此外,高强度残膜产生的有机污染物影响作物的正常生长,对土壤微生物产生较大危害[33],有机质的腐殖化过程、氮素的硝化过程和磷素的分解等养分转化过程都需要土壤微生物(如优势物种酸杆菌门等)参与,所以高强度残膜会降低土壤养分含量,导致微生物活力和含量降低[34]。当残膜量低于512 kg·hm^{-2}时,残膜通过保水作用提高了土壤微生物和相关酶(如几丁质酶、脲酶等)的活性[35],故微生物多样性及丰富度较大。

4 结 论

1)0~40 cm土层土壤中TN含量随着残膜量的增加逐渐降低,T1处理土壤TN含量最大,为1 g·kg^{-1};NH_4^+-N含量随残膜量的增加表现为先增加后减小的趋势,T3处理NH_4^+-N含量最大,为43 mg·kg^{-1};NO_3^--N含量随着残膜量的增加逐渐减小,T1处理NO_3^--N含量最大,为66 mg·kg^{-1}。

2)随着残膜量的增加,各离子含量逐渐增多。其中Na^+、Ca^{2+}、CO_3^{2-}、SO_4^{2-}含量较多,HCO_3^-、Cl^-、K^+,Mg^{2+}含量较少,各离子均表现为随着残膜量的增多逐渐积累在0~20 cm土层。

3)在0~40 cm土层中,相较于对照组CK2,T1、T2、T3、CK1处理中微生物Chao1指数和Observed species指数均有所增大,T4、T5、T6处理中Shannon指数低于CK2处理;Simpson指数除T1处理外,其余处理中均低于对照组CK2;T5和T6处理中优势物种数明显低于其他处理。

参 考 文 献:

[1] LI F M, GUO A H, WEI H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Research, 1999, 63(1): 79-86.

[2] 张丹,刘宏斌,马忠明,等.残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J].中国农业科学,2017,50(2):310-319.
ZHANG D, LIU H B, MA Z M, et al. Effect of residual plastic film on soil nutrient contents and microbial characteristics in the farmland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 310-319.

[3] 于显枫,张绪成,王红丽,等.施肥对旱地全膜覆盖垄沟种植马铃薯耗水特征及产量的影响[J].应用生态学报,2016,27(3):883-890.
YU X F, ZHANG X C, WANG H L, et al. Effects of fertilizer application on water consumption characteristics and yield of potato cultured under ridge-furrow and whole filed plastic mulching in rain-fed area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(3): 883-890.

[4] ESPÍ E, SALMERÓN A, FONTECHA A, et al. Plastic films for agricultural applications[J]. Journal of Plastic Film & Sheeting, 2006, 22(2): 85-102.

[5] 方彦杰,张绪成,于显枫,等.地膜覆盖和施肥对半干旱区苦荞土壤水分利用及产量的影响[J].草业学报,2020,29(11):46-56.
FANG Y J, ZHANG X C, YU X F, et al. Effects of soil plastic mulching and fertilizer application on the water utilization and yield of Tartary buckwheat crops in a semiarid rain-fed area[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(11): 46-56.

[6] 王秀康,李占斌,邢英英.覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):884-897.
WANG X K, LI Z B, XING Y Y. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2015, 21(4): 884-897.

[7] 王坤.农用残膜对土壤理化性质和作物产量影响的研究[J].现代农业研究,2021,27(1):27-28.
WANG K. Study on the effects of agricultural residual film on soil physicochemical properties and crop yield[J]. Modern Agriculture Research, 2021, 27(1): 27-28.

[8] 张建军,郭天文,樊廷录,等.农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(1):100-102.
ZHANG J J, GUO T W, FAN T L, et al. The effect of the agricultural residual plastic film on maize growth and development and soil moisture movement[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(1): 100-102.

[9] 赵素荣,张书荣,徐霞,等.农膜残留污染研究[J].农业环境与发展,1998,(3):7-10.
ZHAO S R, ZHANG S R, XU X, et al. Study on the agricultural plastic sheeting residue pollution[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 1998,(3):7-10.

[10] 刘建国,李彦斌,张伟,等.绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(2):246-250.
LIU J G, LI Y B, ZHANG W, et al. The distributing of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in oasis of Xinjiang[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(2): 246-250.

[11] 黄晶淼,刘国鑫,刘佩杭,等.不同种植年限苹果园根际土壤养分、pH及微生物的相关性[J].山西农业科学,2020,48(8):1263-1266.
HUANG J M, LIU G X, LIU P H, et al. Correlation of nutrient, pH

and microorganism in rhizosphere soil of apple orchard with different cultivation years[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(8): 1263-1266.

[12] 高维常,蔡凯,曾陨涛,等.农用地膜残留对土壤氮素运移及烤烟根系生长的影响[J].土壤学报,2020,57(6):1556-1563.
GAO W C, CAI K, ZENG Y T, et al. Impacts of mulching plastic film residue on migration of soil nitrogen and growth of flue-cured tobacco roots[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(6): 1556-1563.

[13] 王亮,林涛,严昌荣,等.不同残膜量和灌溉定额对棉花养分和水分利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(1):122-133.
WANG L, LIN T, YAN C R, et al. Effects of different film residue and irrigation quota on nutrient and water use efficiency of cotton under drip irrigation[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 122-133.

[14] 黄璐.聚乙烯地膜残留对作物产量、土壤质量及土壤微生物多样性的影响[D].兰州:兰州大学,2017.
HUANG L. Impact of polythylene film residues on crop fields, soil quality and soil microbial diversity[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.

[15] 常芳红.地膜残留对玉米产量和土壤理化性质的影响[J].农业科技与信息,2017,(20):80-82.
CHANG F H. Effects of plastic film residue on maize yield and soil physical and chemical properties[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2017,(20): 80-82.

[16] 许光明,王浩宇,牛云鹏,等.浅谈国内外残膜回收机的发展现状与趋势[J].农业与技术,2020,40(20):81-83.
XU G M, WANG H Y, NIU Y P, et al. Development status and trend of residual film recycling machine at home and abroad[J]. Agriculture & Technology, 2020, 40(20): 81-83.

[17] 王乔,李维军,张兴瑶,等.第八师农田残膜现状及其存在的问题[J].农家参谋,2020,(29):57,76.
WANG Q, LI W J, ZHANG X Y, et al. Present situation and existing problems of farmland residual film in the eighth division[J]. The Farmers Consultant, 2020,(29): 57,76.

[18] 杨剑虹,王成林,代亨林.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008:20-20.
YANG J H, WANG C L, DAI H L. Soil agrochemical analysis and environmental monitoring [M]. Beijing: China Dadi Publishing House, 2008.

[19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000:45-46.
BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000.

[20] 王泽林.非常规水滴灌对土壤理化性质及棉花生理生长影响的试验研究[D].石河子:石河子大学,2020.
WANG Z L.Effect of drip irrigation with unconventional water on the soil physical and chemical properties and physiological growth of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.)[D]. Shihezi: Shihezi University, 2020.

[21] 庞发虎,李晓琦,段莉阳,等.基于高通量测序和代谢组学解析重金属污染对农田微生物群落组成和功能的影响[J/OL].环境科学:1-14(2022-01-27). https://kns. cnki. net/kcms/detail/detail. aspx? FileName=HJKZ20220119009&DbName=DKFX2022.
PANG F H, LI X Q, DUAN L Y, et al. High-throughput sequencing combined with metabonomics to analyze the effect of heavy metal contamination on farmland soil microbial community and function[J].Environmental Science: 1-14(2022-01-27).https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx? FileName=HJKZ20220119009&DbName=DKFX.

[22] 牟洪臣,虎胆・吐马尔白,苏里坦,等.干旱地区棉田膜下滴灌盐分运移规律[J].农业工程学报,2011,27(7):18-22.
MOU H C, HUDAN・TUMAERBAI,SU L T, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under mulch in arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 18-22.

[23] 高彦婷,黄珍,张芮,等.单生育期水分胁迫对温室葡萄根际土壤酶活性及微生物群落的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(3):59-68.
GAO Y T, HUANG Z, ZHANG R, et al. Effects of water stress during single growth period on soil enzyme activities and microbial communities in the rhizosphere of greenhouse grape[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(3): 59-68.

[24] 李青军,危常州,雷咏雯,等.白色污染对棉花根系生长发育的影响[J].新疆农业科学,2008,(5):769-775.
LI Q J, WEI C Z, LEI Y W, et al. Influence of white pollution on root growth of cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008,(5): 769-775.

[25] 李堆淑,何念武,冀玉良.干旱胁迫下灰色链霉菌对桔梗幼苗根际土壤酶活性、养分及微生物的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(6):173-180.
LI D S, HE N W, JI Y L. Effects of *Streptomyces griseus* on soil enzyme activity,nutrients and microorganism of the seedlings of *Platycodon grandiflorum* rhizosphere under drought stress[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(6): 173-180.

[26] 祁虹,赵贵元,王燕,等.我国棉田残膜污染危害与治理措施研究进展[J].棉花学报,2021,33(2):169-179.
QI H, ZHAO G Y, WANG Y, et al. Research progress on pollution hazards and prevention measures of residual film in cotton field in China[J]. Cotton Science, 2021, 33(2): 169-179.

[27] 朱珠,姚宝林,李男,等.微咸水灌溉条件下土壤残膜对棉花出苗率与土壤盐分影响研究[J].节水灌溉,2021,(3):7-11.
ZHU Z, YAO B L, LI N, et al. Effects of soil film residue on seedling emergence rate and salinity of cotton under brackish water irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2021,(3): 7-11.

[28] 吴凤全,林涛,王静,等.不同残膜量对棉田土壤水盐运移的影响[J].棉花学报,2018,30(5):395-405.
WU F Q, LIN T, WANG J, et al. Effect of drip irrigation under film on soil water and salt movement in a residual film cotton field[J]. Cotton Science, 2018, 30(5): 395-405.

[29] 朱金儒,王振华,李文昊,等.长期膜下滴灌棉田残膜对土壤水盐、养分和棉花生长的影响[J]干旱区资源与环境,2021,35(5):151-156.
ZHU J R, WANG Z H, LI W H, et al.Effect of residual plastic film on soil water salt, nutrient and cotton growth un-der long-term mulched drip irrigation[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(5): 151-156.

(下转第 259 页)