

稻壳深施对苏打碱土盐分运移特征的影响

王秋菊^{1,2}, 焦峰^{3*}, 刘峰¹, 宫秀杰⁴, 曹旭⁵, 常本超¹ (1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 黑龙江哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150086; 3. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江大庆 163319; 4. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 黑龙江哈尔滨 150086; 5. 黑龙江省科学院微生物研究所, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘要 [目的]明确苏打碱土深施稻壳对土壤盐分运移特征的影响。[方法]采用模拟试验方法和田间试验调查方法,在稻壳深埋至苏打碱土后,调查灌水和自然干燥过程中不同土层土壤盐分的变化,以及自然气候条件下土壤盐分变化。[结果]模拟试验灌水后土壤盐分有向下淋洗的过程,稻壳深埋处理盐分淋洗量大;干燥条件下,自然状态土壤盐分在表层积聚,稻壳处理上层土壤盐分无明显积聚,土壤盐分在稻壳层下累积;田间稻壳深施土壤盐分运移特征与模拟试验一致,旱季盐分随水分向地表运移并累积,雨季盐分随水分向下淋洗,有稻壳区下层土壤盐分向上运移被阻隔,上层土壤盐分通过稻壳在土壤中建立的大孔隙向下淋洗,盐分在稻壳层下累积,土壤表层盐分明显下降。[结论]该研究为农业生产中盐渍土改良提供理论依据。

关键词 稻壳;苏打碱土;盐分;阻隔;运移

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)04-0086-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.04.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Deep Application Rice Husk on Salt Transport Characteristics in Soda Alkali Soil

WANG Qiu-ju^{1,2}, JIAO Feng³, LIU Feng¹ et al (1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Key Laboratory of Heilongjiang Soil Environment and Plant Nutrient, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319)

Abstract [Objective] To determine soil salt transport characteristics after deep application of rice husk. [Method] The simulation test method and field test investigation method were adopted in this paper, investigated the changes of soil salt in different soil layers during irrigation and natural drying and the changes of soil salt under natural climatic conditions after application husk in deep layer soil. [Result] The result showed that the soil salt was washed down after irrigation in the simulated test, and the amount of washing salt was large in the deep application rice husk; Under dry conditions, soil salt accumulated in the surface layer in the natural state soil, and soil salt didn't significantly accumulated in the upper layer in deep application rice husk, soil salinity accumulated under rice husk layer; the soil salinity transport characteristics of deep application rice husk in field were consistent with those of simulation experiments, salt moved to the surface with water during the dry season, and draft down with water in the rainy season, the migration of soil salt to the upward was blocked in the application rice husk, the salt of the upper soil was washed downward through the large pores established by the rice husk in the soil, salt was accumulated under the rice husk layer, and the soil salt of surface decreased obviously. [Conclusion] The study provides a theoretical basis for the improvement of saline soil in agricultural production.

Key words Rice husk; Soda alkali soil; Salt; Blocking; Migration

盐渍土是我国重要的耕地土壤,约占我国国土面积的1/3^[1],由于土壤中含盐量高,对作物产生危害,盐渍土的改良和利用一直是我国政府和科研部门关注的问题。盐渍土的形成不只是受自然成土过程的影响,更受人为活动因素的影响,不合理施肥、灌溉以及其他不合理利用均会导致土壤次生盐渍化^[2]。我国在盐渍土改良过程中取得了一定的成绩,如辽宁的灌排结合种稻^[3],河北的井灌沟排、抽咸补淡灌排技术模式^[4],新疆的暗管排盐工程都为盐渍土的改良提供了技术和思路^[5],但长期实施后,导致地下水位下降等一系列的生态环境问题也值得关注。在局部土壤上采用施石膏、有机肥、一些酸性肥料或生物制剂等^[6-9],成本较高,且不能解决盐渍土的瓶颈问题。黑龙江省盐渍土面积并不大,盐渍土和盐渍化土壤面积93.08万hm²,占全省土壤面积的2.1%,主要分布在松嫩平原,三江平原也有零星分布^[10]。黑龙江省在改良盐渍土方面也做了大量的工作,如种稻治盐、以水

压盐、深松、深翻,施酸性肥料等途径^[11-13]。由于黑龙江省盐渍土类型属于苏打碱土,土壤中钠离子含量高,土壤分散度强,深松、深翻均未起到持久效果,种稻压盐在生长季节作用明显,但在无地表水时,土壤返盐问题仍未得到解决。盐渍土的盐分与土壤水分运行密切相关,改变土壤盐分运行要从改变土壤水分运行方向着手^[14]。笔者所在课题组早期开展稻壳大田机械深施改良苏打碱土效果,改良土壤物理性质明显,苜蓿增产明显^[15-16],但稻壳深施后土壤中盐分运行机理尚不明确,笔者将稻壳作为改土介质埋于20~30cm土层,研究稻壳施入对土壤盐分运移特征的影响,明确稻壳深施对盐渍土盐分的阻隔效果,旨在为农业生产中盐渍土改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 供试土壤为苏打碱土,位于黑龙江省兰西县远大乡胜利村黑龙江省农业科学院草业研究所试验基地的撂荒农田,黑土层厚度为20~25cm,表层疏松,下层为坚实的柱状结构,具备典型的苏打碱土剖面构造。土壤基本性质见表1。

试验地地理坐标为125°28'24"E, 46°32'17"N,属于温带大陆性季风气候,近10年年平均降雨量450mm,平均气温

基金项目 科技支撑计划项目(2014BAD11B01-A027);省重大项目(GA14B101-A04,GA16B401);院创新工程(2017ZC14)。

作者简介 王秋菊(1978—),女,黑龙江依兰人,副研究员,博士,从事土壤改良研究。*通信作者,副教授,博士,从事土壤学研究。

收稿日期 2018-09-11

3.1 ℃, ≥10 ℃有效活动积温 2 760 ℃^[17]。2017 年降雨集中分布在 7、8、9 月,其余月份降雨量小。

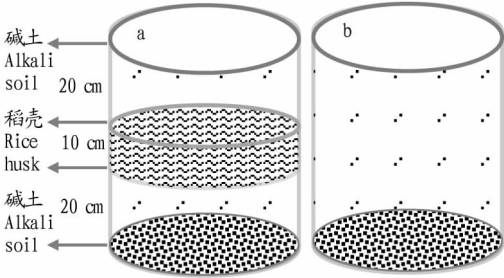
表 1 供试土壤基本性质
Table 1 Basic properties of tested soil

土层 Soil layers cm	有机质 Organic matters g/kg	全量养分 Total nutrient//g/kg			速效养分 Available nutrient//mg/kg			pH
		N	P	K	N	P	K	
0~10	38.6	3.27	1.56	24.2	84	29.3	309	8.30
>10~20	36.2	2.63	1.16	23.5	91	7.3	157	9.08
>20~30	17.6	1.78	0.91	23.5	49	6.6	149	9.12

1.2 试验方法

1.2.1 模拟试验。通过土柱法进行模拟试验,供试土壤取自黑龙江省兰西县远大乡胜利村黑龙江省农业科学院草业研究所试验基地的撂荒农田 0~30 cm 土层土壤,混匀后装入土柱中。设置 2 个处理,一个处理为稻壳深埋土壤。稻壳处理见图 1a,在直径 30 cm、高 55 cm 塑料桶(底部有孔)中,底部先铺 2 cm 厚粗沙,然后铺 20 cm 厚的盐渍土,压实到容重 1.3 g/cm³,在其上铺 10 cm 厚稻壳,在上面再装填 20 cm 厚、容重 1.0 g/cm³ 的表层土。另一个为对照,在塑料桶底部先铺 2 cm 厚粗沙,再装入 30 cm 厚土层,压实至容重 1.3 g/cm³;然后在其上面装填 20 cm 厚、容重 1.0 g/cm³ 的表层土(图 1)。

处理前将各土柱 1 次性浇 50 mm 水,土壤达到饱和后用塑料布封口防止水分蒸发。7 d 后打开封口,任其自然蒸发。从试验第 1 天起,每天取样调查各层土壤盐分含量,连续调查 14 d。每个处理设置 42 个塑料桶,共计 84 个。试验设在大庆市黑龙江八一农垦大学盆栽试验场进行。



注:a.埋藏稻壳土壤;b.自然土壤
Note:a.Buried rice husk soil;b.Natural soil

图 1 模拟试验示意

Fig.1 Simulation test diagram

1.2.2 田间试验。试验设在黑龙江省兰西县远大乡胜利村黑龙江省农业科学院草业研究所试验基地院内的撂荒农田。与模拟试验对应,田间试验设置 2 个处理。自然状态区(对照):土壤保持原状,不经过翻动;稻壳深施区:采用土层置换犁将铺在地表稻壳深施作业,总耕深约 40 cm。首先在试验区表面平铺约 10 cm 厚稻壳(1 000 m³/hm²),然后根据土层置换犁作业原理将稻壳翻埋至 25~30 cm 土层中。每区面积 500 m²。试验处理时间为 2016 年 11 月 10—15 日,2017 年开展跟踪调查。

1.3 调查项目与方法 模拟试验每天按照 0~10、10~20、30~40、40~50 cm 土层对土柱破坏,进行取样,分析土壤全盐量。大田调查自 5 月 1 日至 11 月 15 日,每隔 15 d 左右田间

取样,按照 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm 土层用土钻进行取样,每次取 5 点,按土层混合后带回实验室处理,分析土壤全盐量。每次取样错开前期取样位置。

土壤盐分采用电导法测定,取回土样风干后磨碎,过 2 mm 筛,以 1:5 的土水比提取土壤溶液上清液,用电导率仪 DDS-307 测定土壤电导率,根据公式计算土壤盐分含量。土壤盐分含量(g/kg)=电导率×0.064×5×10/1 000^[18]。

2 结果与分析

2.1 模拟试验结果 从图 2 可以看出,灌水后密封 7 d 内,0~10 cm 土层土壤盐分呈下降趋势,埋藏稻壳和不埋稻壳处理一致,当处于自然状态后,土壤中盐分含量又呈上升趋势,无稻壳处理上升明显;10~20 cm 土层土壤盐分变化趋势与 0~10 cm 土层一致,自然状态下后土壤盐分呈上升趋势,无稻壳处理与有稻壳埋藏处理间盐分含量差异更大,且稻壳处理土壤盐分再次上升后仍低于处理初期的盐分总量;在稻壳下面的 30~40 cm 土层,土壤盐离子总量高于对照,与上层土壤表现不一致,主要是稻壳阻碍了盐基离子上升,盐基离子在此层积累,因此高于对照;40~50 cm 土层在前期灌水后对照与有稻壳处理差异不大,对照呈前期低、中期高、后期又低的变化趋势,稻壳处理在自然状态下盐基离子含量高于对照,与稻壳阻碍了下层土壤盐基离子上升有关。有稻壳土壤下层土的盐基离子高于无稻壳处理,上层土壤盐基离子低于无稻壳处理,说明稻壳在土层中分布可以阻碍盐分上升,同时可促进上层土壤盐分向下淋洗。

2.2 田间调查结果 土壤全盐量呈季节性变化,黑龙江省苏打碱土盐分变化,一般 5—7 月是积盐期,此时土壤盐分随毛管水向上运移,表现为表层和上层土壤盐分积累。从图 3 可以看出,0~15 cm 土层土壤总盐量逐渐增加;7—9 月是降雨期,土壤盐分随雨水向下淋洗,此时表层土壤盐分降低,0~7.5 cm 土层土壤全盐量呈下降趋势,15 cm 处土壤盐分则呈升高趋势,说明表层土壤盐分主要淋洗至此层,10 月后又随着降雨终止土壤再度呈现干旱状态,土壤盐分又向表层运移,呈现季节性变化,土壤盐分变异幅度较大的土层是 30 cm 以上土层,30 cm 土层向下变异幅度小。而稻壳深施土壤盐分变化在各土层与对照不一致,在 0~7.5 cm 土层,5—7 月土壤也呈积盐过程,但盐分含量低于对照,7 月进入降雨期后,土壤中盐分大幅度降低,15 cm 土层土壤盐分也呈降低趋势,30 cm 土层土壤盐分含量升高,并高于对照,50 cm 土层无明显变化。稻壳区土壤盐分在 0~7.5 cm 土层随季节变化趋势

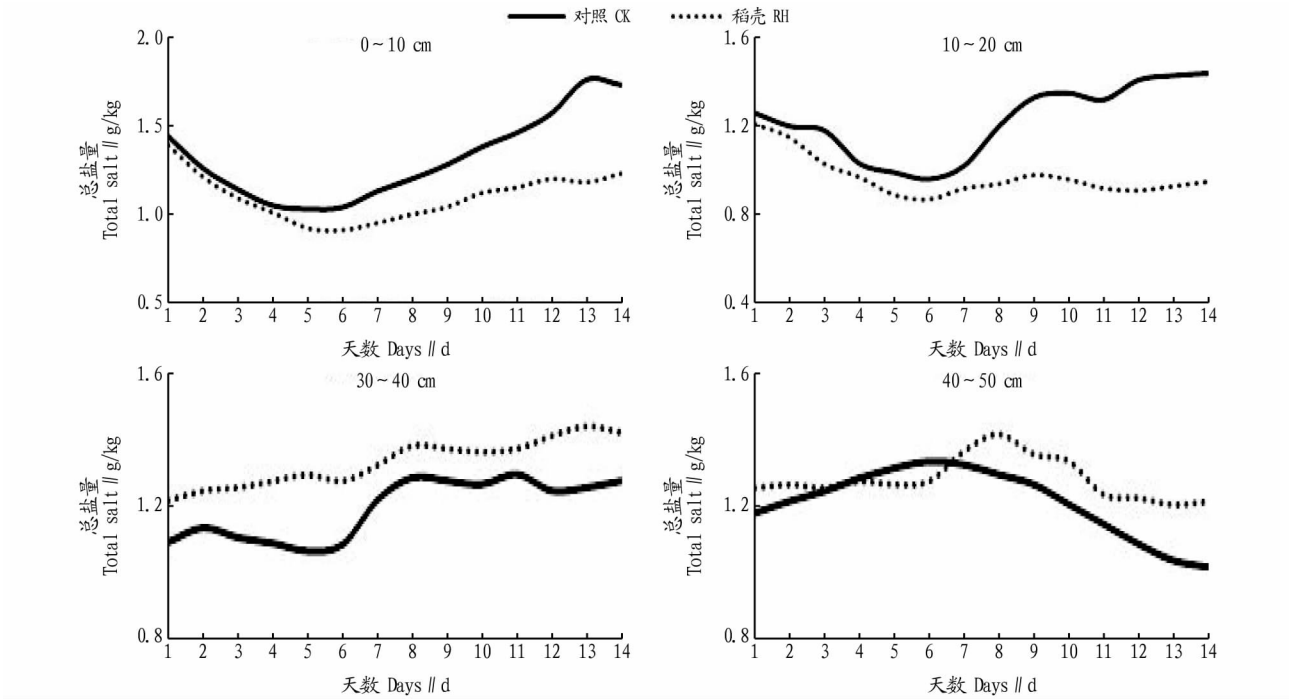


图 2 不同土层盐分变化特征

Fig.2 Characteristics of salt variation in different soil layers

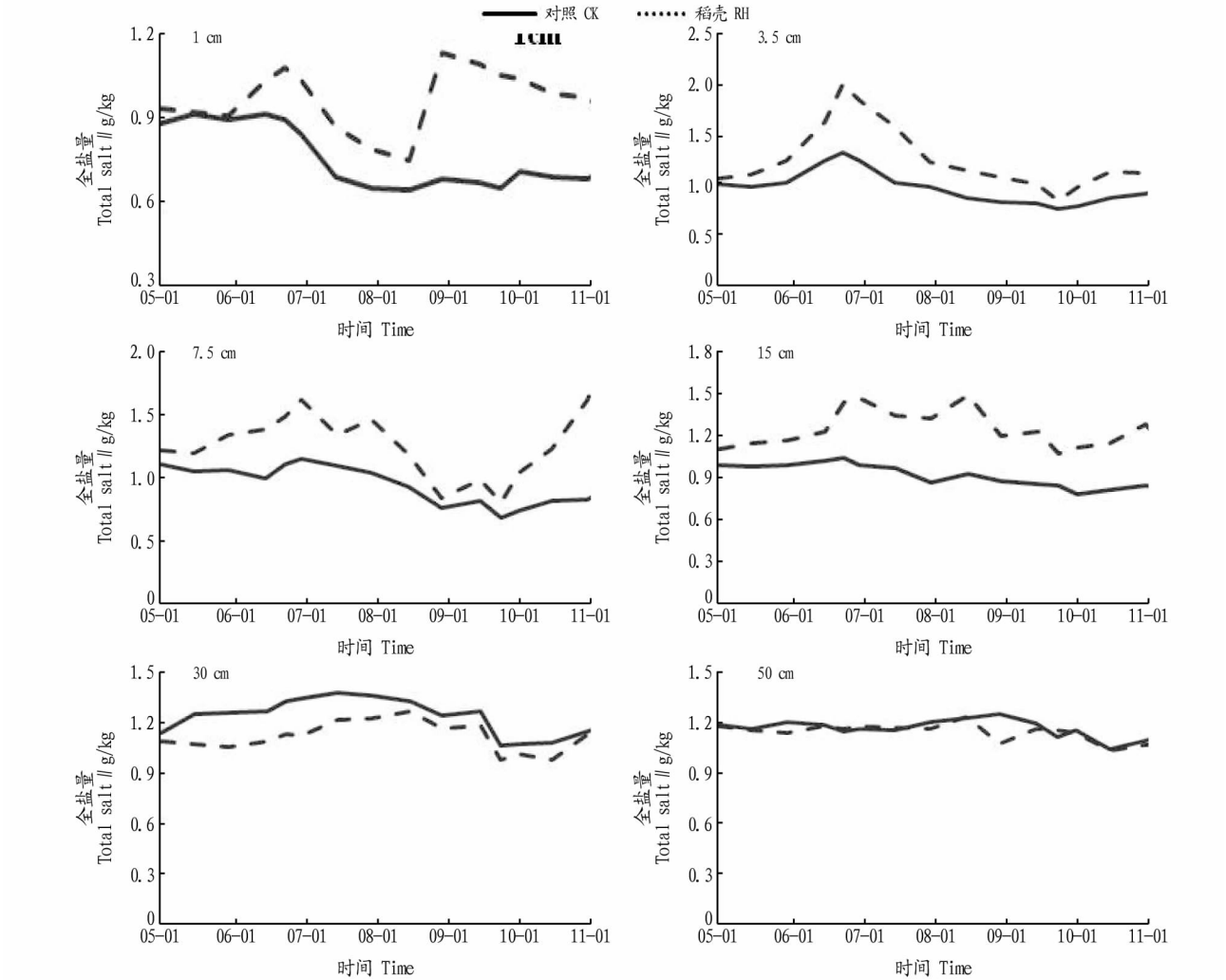


图 3 田间不同土层盐分变化特征

Fig.3 Characteristics of salt variation in different soil layers in field

与对照一致,但 0~7.5 cm 土层盐分在降雨时期明显低于对照,当再度干旱时土壤盐分上升不明显,15 cm 土层土壤盐分一直处于缓慢降低状态,与对照变化趋势不一致。30 cm 土层土壤盐分稻壳处理区高于对照区,50 cm 土层土壤盐分与对照相比差异不大。在 30 cm 土层处稻壳区土壤盐分升高,一方面与稻壳切断土壤毛管孔隙,使下层盐分随毛管水上升至稻壳下积累有关,另一方面与上层盐分向下淋洗有关,稻壳的存在增加了土壤的大孔隙,土壤变得疏松,利于雨水对表层盐分向下淋洗,也是导致稻壳层下土壤盐分增多的一个原因。50 cm 土层土壤盐分稻壳区和对照区差异不大与土壤

淋洗距离有关。

从图 4 可以看出,在干旱季节,盐分在剖面 10 cm 以上含量能够达到最高峰,在降雨季节,盐分在 10~20 cm 土层达到最高峰,说明苏打碱土盐分淋洗距离较短,一般 10 cm 土层左右,稻壳区土壤盐分在剖面中的分布与对照区不同,在干旱季节,稻壳深施区 2 个峰值,一个是在 0~10 cm 土层,另一个是在 30~40 cm 土层,降雨季节土壤剖面中 30~40 cm 土层盐分含量最高,盐分通过稻壳淋洗至稻壳下面的土层中,明显降低耕层土壤盐离子总量。

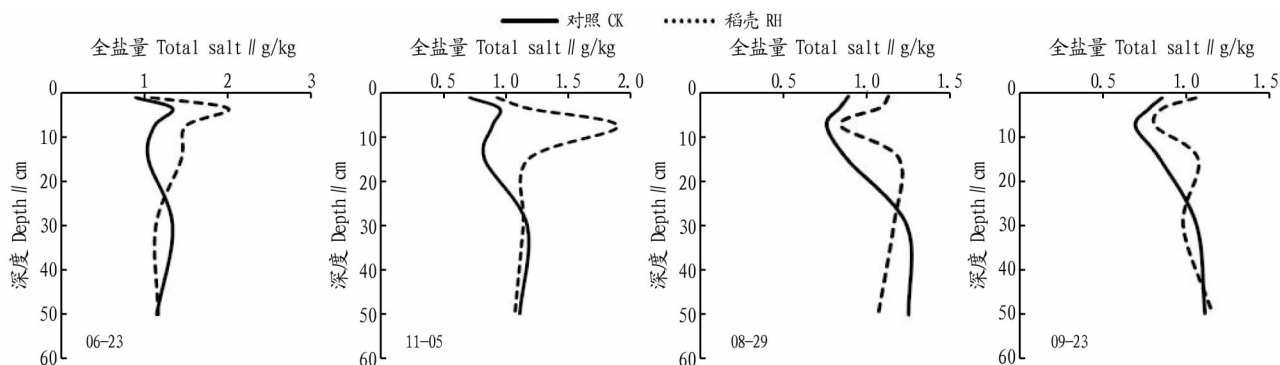


图 4 不同时期盐剖面变化特征

Fig.4 Characteristics of salt profile variation in different period

3 讨论

关于盐渍土盐分运行规律,国内相关研究较多^[19-21],比较系统。黑龙江省盐渍土属于内陆型盐渍土,在《中国盐渍土》中被分类为现代盐渍土^[2],处于不断积盐过程,受太平洋季风气候影响,土壤盐分运行呈规律性变化,在《黑龙江土壤》中,介绍了黑龙江盐渍土在干早期和降雨期土壤盐分的运移规律,郑冬梅^[14]对松嫩平原盐渍土水盐运移的时间节律进行了研究,分析了土体热量与盐分运行的关系。黑龙江省盐渍土主要分布在松嫩平原北部,盐分运移时间节律有其自身特点,也是黑龙江特殊气候条件决定的,在 11 月至来年 4 月末土壤盐分运移以横向为主,此时是黑龙江省冰冻时期,5—7 月、10—11 月处于融冻期,是盐渍土分布地区的干旱季节,盐分向上积累,表层盐分升高,7—9 月是降雨季节,盐分会随降水向下淋洗,表层盐分降低。黑龙江省作物播种时期在 5 月,而此时土壤表层盐分积累,会造成作物生长受阻,出苗率低,长势差,因此在此时期降低表层土壤盐分至关重要。该研究根据黑龙江盐渍土土壤盐分运移特点,开展稻壳深施对土壤盐分运移特征的研究,通过稻壳建立的隔层达到在干旱季节阻碍下层土壤盐分随毛管水向上积累,造成表层盐分过多的现象,降雨季节又可促进表层盐分向下淋洗。模拟试验中表现为表层土壤盐分随水向下淋洗,干旱时表层积累缓慢,而稻壳下层盐分含量则较高,田间调查各层土壤盐分变化趋势与模拟试验一致;由于稻壳的作用,盐分在田间的剖面分布特征与无稻壳土壤有差异,在干旱时,表层 0~10 cm 土层和稻壳层下 30~40 cm 土层土壤盐分含量高,有 2 个峰值,无稻壳的仅有一个峰值,只是表层盐分含量高;降雨

时,稻壳层下 30~40 cm 土层盐分含量高,没有稻壳的降雨时盐分在 10~20 cm 土层高。稻壳在土体中起到了阻隔下层盐分上升的过程,也有助于上层盐分的向下淋洗,降低土壤表层盐分,有利于作物生长。

4 结论

稻壳深施在土壤中,随水分运行土壤盐分分布特征发生变化,灌水饱和期,土壤盐分向下淋洗,干燥期,下层土壤盐分在稻壳层下聚积,稻壳上层土壤盐分未明显积聚,且明显低于没有稻壳的自然土壤;田间稻壳深施土壤盐分运移特征与模拟试验一致,旱季盐分随水分向地表运移并累积,雨季盐分随水分向下淋洗,有稻壳区下层土壤盐分向上运移被阻隔,上层土壤盐分通过稻壳在土壤中建立的大孔隙向下淋洗,在稻壳层下累积,土壤表层土壤盐分明显下降。

参考文献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所.中国土壤[M].北京:科学出版社,1980.
- [2] 王遵亲.中国盐渍土[M].石家庄:河北科学技术出版社,1990.
- [3] 张梅,王宇,赵兰坡,等.苏打盐碱土种稻改良的水资源高效利用田间试验研究[J].灌溉排水学报,2014,33(1):132-134.
- [4] 李承绪.河北土壤[M].北京:农业出版社,1992.
- [5] 刘子义.新疆内陆干旱重盐碱地区暗管排水技术的应用[J].农田水利与小水电,1994(7):9-12.
- [6] 张密密,陈诚,刘广明,等.适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J].农业工程学报,2014,30(10):91-98.
- [7] 张玉凤,林海涛,王江涛,等.盐碱土壤调理剂对玉米生长及土壤的改良效果[J].中国土壤与肥料,2017(1):133-138.
- [8] 徐璐.耕作及石膏对苏打盐碱土改良作用研究[D].长春:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2012.
- [9] 张伟华.腐殖酸在盐碱土改良中的应用及前景[C]//第八届全国绿色环保肥料(农药)新技术、新产品交流会.北京:中国腐植酸工业协会,2009.

(下转第 113 页)

微球形貌较圆整规则,大小比较均一。微球表面粗糙多孔,无

粘连。这说明反应过程中交联乳化效果较好,体系较为稳定。

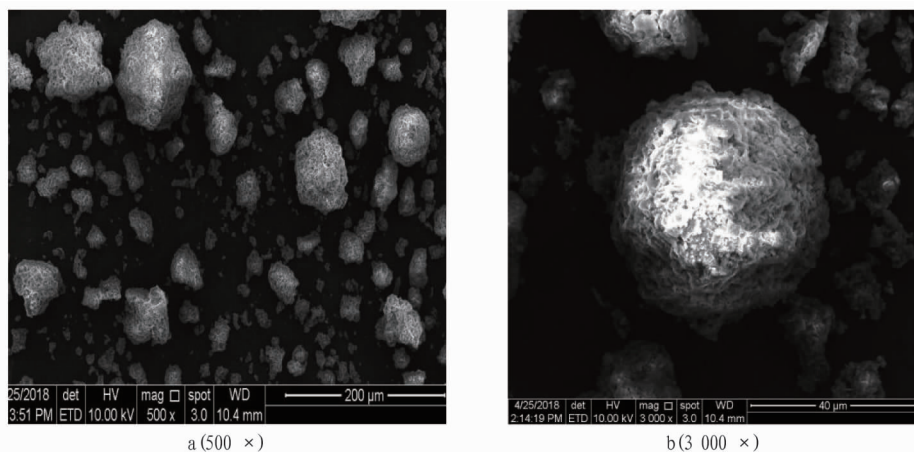


图 6 替米考星淀粉微球扫描电镜观察结果

Fig.6 The scanning electron results of tilmicosin starch microsphere

3 讨论

(1)制备过程中应注意集热式恒温加热磁力搅拌器的搅拌速度。搅拌速度过小,水相易粘连成块状,交联效果差;搅拌速度过大,油相易飞溅,影响反应的进行。因此,在反应过程中需要适当控制搅拌速度,且用锥形瓶作为反应器,以减少油相的飞溅。

(2)采用适当的两相加入的方法。文献中均采用水相加入油相的制备方法,但经过多次预试验发现,由于水相为可溶性淀粉溶液,较为黏稠,在制备过程中损失较大,因此该研究采用油相加入水相的方法,易于操作,减少了药物损失,提高了包封率和载药量。

(3)洗涤微球应充分。用适量乙酸乙酯洗涤多次,再用适量无水乙醇洗涤多次;否则,抽滤后的微球粘成块状,不易干燥,且不易破坏,影响含量的测定。

4 结论

采用单因素试验和正交试验优化替米考星淀粉微球的制备工艺,各影响因素从大到小依次为交联剂用量、替米考星用量、乳化剂用量、反应时间;最佳制备工艺条件如下:替米考星 0.02 g,交联剂 0.95 g,乳化剂 0.75 g,反应时间 1.5 h,按照此优化工艺参数制得的替米考星淀粉微球载药量为 1.63%,包封率为 81.4%;制得的微球形貌较为圆整规则,大小较为均一。该研究为替米考星剂型的改进和创新提供了新思路,扩大了替米考星的应用范围,也为兽药新剂型和新

技术的研究与发展提供了重要参考。

参考文献

- [1] NORCIA L J L, SILVIA A M, HAYASHI S F. Studies on time-kill-kinetics of different classes of antibiotics against veterinary pathogenic bacteria including *Pasteurella*, *Actinobacillus* and *Escherichia coli* [J]. *The journal of antibiotics*, 1999, 52(1): 52-60.
- [2] 郭腾, 吴连勇, 张家祥. 兽用抗菌新药替米考星研究进展 [J]. *中国兽药杂志*, 2002, 36(7): 38-39, 43.
- [3] MAIN B W, MEANS J R, RINKEMA L E, et al. Cardiovascular effects of the macrolide antibiotic tilmicosin, administered alone and in combination with propranolol or dobutamine, in conscious unrestrained dogs [J]. *Journal of veterinary pharmacology & therapeutics*, 1996, 19(3): 225-232.
- [4] 远立国, 鲍杰, 李成明, 等. 替米考星肺靶向微球的研制 [J]. *中国兽医科学*, 2008, 38(12): 1093-1097.
- [5] 方亮. 药剂学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 319.
- [6] 徐军, 陈子扬, 单鹏, 等. 明胶微球的制备 [J]. *中国生物制品学杂志*, 2012, 25(2): 230-232.
- [7] DA FONSECA C O, LANDEIRO J A, CLARK S S, et al. Recent advances in the molecular genetics of malignant gliomas disclose targets for antitumor agent perillyl alcohol [J]. *Surgical neurology*, 2005, 65(S1): 52-58.
- [8] PERESWETOFF-MORATH L. Microspheres as nasal drug delivery systems [J]. *Advanced drug delivery reviews*, 1998, 29(1): 185-194.
- [9] 李仲谨, 杨威, 刘艳, 等. 替米考星淀粉微球的制备及缓释性能的研究 [J]. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(11): 230-234.
- [10] 刘亚. 硅胶表面替米考星分子印迹聚合物的制备及性能研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2006.
- [11] 杨黎燕, 余丽丽, 牛秀明. 替米考星交联淀粉载药微球的制备研究 [J]. *应用化工*, 2012, 41(2): 217-220.
- [12] 李艳平, 申宇, 唐洪波. 交联淀粉微球的制备及表征 [J]. *粮油加工*, 2015(1): 44-46, 50.
- [13] 苑玉凤. 多指标正交试验分析 [J]. *湖北汽车工业学院学报*, 2005, 19(4): 53-56.
- [14] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤 [M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [15] 王涛, 窦森, 张玉广, 等. 大安市暗管改碱水稻示范区地下水位与水质变化研究 [J]. *吉林农业大学学报*, 2012, 34(6): 645-649, 666.
- [16] 司振江, 张忠学, 黄彦. 大庆市盐碱土深松改良生态修复试验研究 [J]. *土壤通报*, 2010, 41(4): 952-956.
- [17] 王涛, 安丰华, 窦森, 等. 暗管条件下深松对苏打草甸碱土理化性质的影响 [J]. *吉林农业大学学报*, 2012, 34(5): 545-552.
- [18] 郑冬梅. 松嫩平原盐渍土水盐运移的节律性研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2005.
- [19] 高中超, 中本和夫, 王秋菊, 等. 稻壳深施对碱土物理性质和苜蓿产量的影响 [J]. *土壤通报*, 2014, 45(4): 990-995.
- [20] 王秋菊, 刘峰, 常本超, 等. 稻壳深施改良苏打碱土理化性质长期效应 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(2): 147-152.
- [21] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006-2016.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30-165.
- [23] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 滴灌流量对土壤水盐运移及再分布的作用规律研究 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1016-1021.
- [24] 王婧, 逢焕成, 任天志, 等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 52-59.
- [25] 杨红梅, 徐海量, 牛俊勇. 干旱区滴灌条件下防护林次生盐渍化土壤水盐运移规律研究 [J]. *土壤学报*, 2010, 47(5): 1023-1027.

(上接第 89 页)