

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.02.016

# 河套灌区覆盖对盐渍土壤养分迁移与分布的影响

梁建财 李瑞平 史海滨 李 祯 卢星航 步怀亮

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 在河套灌区对盐渍土壤覆盖后进行秋浇田间试验, 研究不同覆盖下秋浇、冻融及玉米生育期3个阶段的土壤养分含量变化规律。试验设7个处理, 分别为秸秆覆盖量1.2(F1.2)、0.9(F0.9)、0.6(F0.6)、0.3 kg/m<sup>2</sup>(F0.3)、玉米整秆覆盖(YZ)、地膜覆盖(DM)、未覆盖(CK)。结果表明, 秋浇后地下水位较高, 秋浇至冻融期间土壤水分与地下水具有补排关系, 土壤养分的转化、迁移同时发生, 秋浇后至冻融期内土壤养分的变化规律复杂; 地表覆盖改变了土壤的水土环境, 不同处理间养分含量存在差异, 在试验期内全效养分的变化幅度较小, 速效养分变化幅度较大; 分析玉米播前耕层土壤供肥能力, 秸秆覆盖处理的全氮、全磷含量小但供应强度大, 春播时需补充氮肥、磷肥, 以保证作物的生长。秸秆覆盖处理的全钾含量与钾素供应强度均高于CK, 与CK相比较, 秸秆覆盖使耕层土壤较好地满足了玉米播种及后续生长过程中的钾肥需求; 相同施肥条件下, 经过一年试验后, 对于土壤耕层, 处理DM的全氮含量较试验前降低了0.10 g/kg, 其余处理变化幅度较小。各处理的全磷含量较试验前增加。处理CK、DM的全钾含量较试验前增加, 处理F1.2、F0.9降低了全钾含量。处理YZ、F1.2和DM的碱解氮含量升高, 其余处理则降低。各处理的速效钾、速效磷含量均较试验前升高。处理F1.2、F0.9和CK的有机质含量较试验前增加, 其余处理则降低。

**关键词:** 土壤养分; 覆盖; 冻融; 秋浇; 玉米; 河套灌区

**中图分类号:** S153.6; S156.4<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)02-0113-09

## Effect of Mulching on Transfer and Distribution of Salinized Soil Nutrient in Hetao Irrigation District

Liang Jiancai Li Ruiping Shi Haibin Li Zhen Lu Xinghang Bu Huailiang

(Hydraulic and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

**Abstract:** Field scale autumn irrigation experiments were conducted on the salinity soil in Hetao Irrigation District to study the variation of soil nutrient in autumn irrigation, freeze thawing and growth periods of maize with different mulching approaches. Seven treatments were contained as follows: mixed chopped maize straw mulching amount of 1.2 (F1.2), 0.9 (F0.9), 0.6 (F0.6) and 0.3 kg/m<sup>2</sup> (F0.3), as well as the whole maize straw (YZ) mulching, plastic film (DM) mulching, and no mulching (CK). Results showed that water table was high after autumn irrigation, soil water had a recharge and discharge relationship with groundwater during the autumn irrigation and freeze-thawing periods. The transfer and migration of soil nutrient occurred simultaneously. The changing law of soil nutrient was complex during the autumn irrigation and freeze-thawing periods. The soil surface mulching altered the water-soil environment of soil. The nutrient content had differences between treatments. The rangeability of whole effect nutrient was small during the experiment period. But the rangeability of available nutrient was large. Analyzing the feeder capability of surface soil before seeding stage of maize,

收稿日期: 2015-05-10 修回日期: 2015-08-24

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51369018)、教育部留学回国人员科研启动基金项目([2013]693)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD29B03)

**作者简介:** 梁建财(1983—),男,博士生,主要从事节水灌溉技术研究,E-mail: ljc\_2143@163.com

**通信作者:** 李瑞平(1973—),男,教授,博士,主要从事节水灌溉原理与技术研究,E-mail: nmglrp@163.com

it was showed that the treatment of straw mulching had small soil total N content but got huge supply intensity. It required nitrogen when the spring sowing happened. The treatment of straw mulching had small soil total P content but owned huge supply intensity. It needed phosphorus fertilizer for the spring sowing, which could ensure the growth of crops. Generally, the soil total K content and the potassium supply intensity of straw mulching treatments were higher than those of CK. Compared with CK, straw mulching made the surface soil be capable of satisfying the potassium fertilizer demand during the growth period. After the experiment period, the whole soil N content of DM in surface soil was decreased by 0.10 g/kg under the same fertilizer condition. The rangeability of other treatments was small. The soil total P content of each treatment was increased after experiment, and the soil total K contents of CK and DM were also increased, but the soil total K contents of F1.2 and F0.9 were decreased. The available N contents of YZ, F1.2 and DM were increased. The available K and P contents for each treatment were increased after experiment. The soil organic matter contents of F1.2, F0.9 and CK were increased after experiment, however, it was decreased for other treatments.

**Key words:** soil nutrient; mulching; freezing-thawing; autumn irrigation; maize; Hetao Irrigation District

## 引言

农田生态系统中土壤养分经历着转化、植物吸收、淋溶及气化损失等复杂的迁移转化过程<sup>[1]</sup>,提高肥料利用率,控制地下水体面源污染,对改善农村生态环境和研究区农业可持续发展有重要意义。河套灌区氮素淋失主要发生在秋浇后<sup>[2]</sup>,土壤中残留的养分被秋浇水淋洗进入地下水,造成地下水污染。氮素流失的发生需要满足2个条件,一是土壤中大量可溶性氮素的存在,二是可有迁移的水分,不同施氮水平导致氮素残留的差异,对秋浇淋失率有着不同的影响<sup>[3]</sup>。地表覆盖措施会影响秋浇水的下渗及蒸发等过程,不同覆盖处理有着不同的土壤含水率剖面,养分的淋溶效果也会产生差异。冻融过程中,表层凋落物的腐解、有机质的矿化作用,降水及灌水过程会带走土壤中氮素、有机碳和其他养分,导致土壤养分的流失。冻融作用通过改变土壤结构和含水率分布,促进土壤微生物活性以及有机质矿化等<sup>[4]</sup>,冻融循环会引起土壤溶液中可溶性物质增加,可能导致土壤养分加速流失和肥力退化<sup>[5]</sup>,但也有研究指出冻融过程中土壤的全氮未发生显著的变化<sup>[6]</sup>。室内冻融循环试验表明<sup>[7]</sup>,冻融循环使土壤的硝态氮含量增加,铵态氮含量减少,土壤类型不同,养分变化幅度不同。覆盖措施改变了土壤水、气、热、盐状况,改变了土壤生物活性<sup>[8-10]</sup>,对玉米营养生长和生殖生长具有促进作用<sup>[11-12]</sup>,使得养分在农田生态系统中迁移、转化过程随之改变,最终影响土壤的肥力水平。

在相关研究中<sup>[13-14]</sup>,河套灌区土壤养分的迁移规律是与土壤可溶性盐分放在一起或被忽略的,覆

盖措施对秋浇后冻融期及玉米生育期内养分迁移及转化作用的影响需要细致的分析。

本文通过野外原位监测与取样、室内化验分析的方法,对覆盖秋浇后,土壤全效养分、速效养分和有机质经过淋洗作用、冻融作用及玉米生育期后的迁移变化进行研究,获取养分再分布的定量化数据,探讨覆盖对土壤供肥能力的影响,对减轻灌区农业面源污染有重要的实用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在内蒙古河套灌区沙壕渠试验站节水灌溉研究基地进行。该试验基地位于内蒙古河套灌区中上游,地处荒漠草原地带,属温带干旱气候,年平均气温 6.9℃,冬季严寒少雪,夏季高温干旱,年平均日照时数 3 189 h,年平均蒸发量 2 306.5 mm。11月中下旬土壤开始冻结,最大冻深 0.70~0.96 m,3月中旬冻土开始消融,4月下旬冻融期结束,冻融历时 180 d 左右。研究期内降水量及地下水位变化如图 1 所示。

秋浇后至冻结前地下水位较高,抑制了秋浇水下渗,使上部土层土壤水分呈饱和状态,而在冻结中后期,地下水位呈下降趋势,消融后地下水位为 1.69 m。冻融期内地下水平均埋深为 1.56 m。冻融期内降水量 12.8 mm,主要集中在消融末期。玉米生育期内累积降水 115.8 mm,降水及灌水后,地下水位升高,平均地下水位为 1.50 m。

### 1.2 试验设计

试验于 2013 年 10 月—2014 年 10 月期间进行,设 7 个处理,各处理 3 个重复,分别为秸秆覆盖量

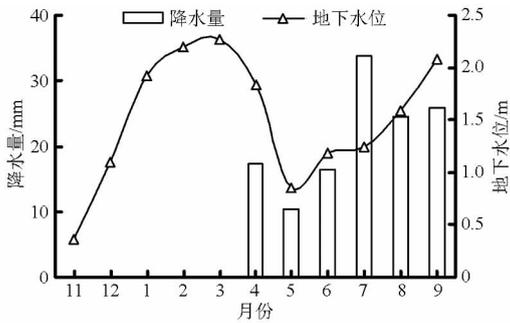


图1 试验期内降雨量及地下水位变化

Fig.1 Changes of precipitation and underground water level during experiment period

1.2 (F1.2)、0.9 (F0.9)、0.6 (F0.6)、0.3 kg/m<sup>2</sup> (F0.3)、玉米整秆覆盖(YZ)、地膜覆盖(DM)、未覆盖(CK)。粉碎的玉米秸秆长3~5 cm,整秆覆盖为相同耕地面积生产的全部秸秆(52 500株/hm<sup>2</sup>),秋浇覆膜玉米用70 cm宽的地膜间隔铺设,膜间距为40 cm,地膜覆盖率为63.6%。小区面积5 m×8 m,小区四周埋防侧渗塑料布,埋深1.2 m。试验区土壤质地为粉砂壤土,属硫酸盐-氯化物型盐土,供试土壤(0~40 cm)的全盐量平均值为2.27 g/kg,pH值平均为8.01。秋收翻地后,经平整、耙后,于2013年10月31日覆秸秆及铺地膜。11月1日秋浇,秋浇定额150 mm。冻融期结束后,原地进行春玉米试验,2014年4月下旬,进行播前施肥整地。秸秆覆盖处理:将地表的秸秆移到小区边上,然后人工翻地、施肥、平地、播种后重新覆盖秸秆。地膜覆盖处理:由于旧薄膜经过冻融期后因取样及风吹损坏,需要换新地膜,清除旧薄膜后,人工翻地、施肥、平地、覆盖新地膜。基肥:施N 81 kg/hm<sup>2</sup>、施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 207 kg/hm<sup>2</sup>。2014年4月27日播种玉米,玉米品种为当地常规品种内单314,株距30 cm。6月25日灌水75 mm、追施N 207 kg/hm<sup>2</sup>,7月20日灌水75 mm、追施N 207 kg/hm<sup>2</sup>,8月5日灌水75 mm。9月25日各处理统一收获。

### 1.3 取样与测定

在秋浇前(2013年10月30日)、秋浇后(2013年11月23日,冻结前)、消融后(2014年4月24日,播种前)和春玉米收获后(2014年10月26日),采集0~120 cm土样。取样层次为9层,分别为0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm、100~120 cm。土样风干后过筛,及时测定全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量7个指标。

土壤养分测定方法:全氮:半微量凯氏定氮法测定;全磷:钼锑抗比色法测定;全钾:用火焰光度法测定溶液中的钾离子浓度,再换算为土壤全钾含量;碱

解氮:碱解扩散硼酸吸收法测定;速效钾:NH<sub>4</sub>OAc浸提,火焰光度计法测定;速效磷:NaHCO<sub>3</sub>浸提,钼锑抗比色法测定;有机质:重铬酸钾外加热氧化,硫酸亚铁反滴定法测定。

### 1.4 数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2007制图及数据处理,采用SPSS 17.0软件进行差异显著性检验。文中养分平均值均为分析深度内的加权平均值。秋浇前测得试验地各土层养分含量的平均值,采用此值为各小区初始养分含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤全效养分分布特征

#### 2.1.1 土壤全氮含量变化

图2为试验期内0~120 cm土层土壤全氮含量的变化。在秋浇前,0~40 cm土层的全氮质量比为0.35 g/kg,大于40~120 cm土层的全氮质量比0.24 g/kg;秋浇后,地下水位在地表层附近,耕层土壤含水率达到饱和状态。11月中旬开始,进入冻融期,表土层开始夜冻昼融的日冻融循环,冻结锋面在温度梯度作用下向下发展,同时地下水位也逐渐回落。土壤温度、水、理化性质、通气性和碳氮比等因素均通过影响微生物的活动来影响土壤中氮素的转化,秋浇及冻融过程改变了土壤氮素转化的影响因素。对于土壤耕层0~40 cm,在秋浇后23 d(冻结前),处理F1.2、YZ的全氮含量显著高于其他处理,秸秆覆盖处理全氮质量比较秋浇前增加了0.04~0.10 g/kg,这是因为秸秆腐解后,土壤腐殖质含量增加,使有机态氮含量增加。处理CK的全氮质量比增加了0.02 g/kg,处理DM则降低了0.01 g/kg。

冻融期结束后(玉米播前),处理CK、F0.3的全氮含量显著高于其他处理,覆盖处理F1.2、YZ、F0.9全氮质量比较冻结前分别降低了0.07、0.02、0.01 g/kg,DM处理基本不变,处理F0.6、F0.3和CK的全氮含量较冻结前增加。玉米收获后,处理F1.2的全氮含量较播前增加了2.74%,其余处理均较播前降低。经过一个试验周期后,地膜覆盖处理的全氮质量比降低了0.10 g/kg,而其余处理变化幅度较小,在-0.01~0.04 g/kg之间,处理间差异不明显。

对于耕层以下土层(40~120 cm),在冻结前、消融后和玉米收获后,覆盖处理的全氮含量均高于CK。经过一个试验周期后,各处理的全氮质量比均降低,降低值在0.02~0.11 g/kg之间,CK降低值最大。

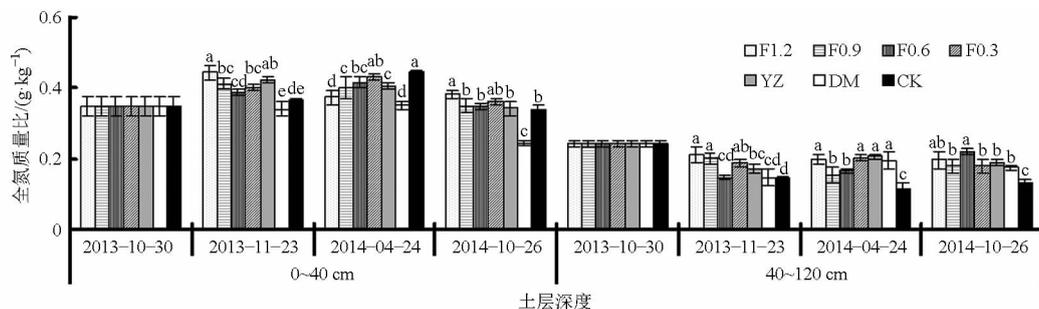


图2 0~40 cm和40~120 cm土层土壤全氮含量均值变化

Fig. 2 Average values of soil total N at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

### 2.1.2 土壤全磷含量变化

图3为试验期内0~120 cm土层土壤全磷含量变化。试验期内土壤全磷含量的变化较小,各处理维持在比较稳定的水平。对于土壤耕层0~40 cm,秋浇后,各处理全磷质量比较秋浇前增加了0.01~0.19 g/kg。冻融期结束后,除处理YZ、DM外,其余覆盖处理全磷质量比较冻结前降低了0.06~0.15 g/kg,CK降低了0.10 g/kg。玉米收获后,各处理全磷含量均较播前增加,这是因为在大量无机态磷被玉米吸收利用的同时,所施加的部分磷肥被土壤颗粒吸附。由处理间的增幅比较可知,秸秆覆盖 >

CK > DM。经过一个试验周期后,各处理的全磷质量比增加了0.04~0.20 g/kg。

对于耕层以下土层(40~120 cm),处理F0.3、YZ的冻结前全磷质量比较秋浇前有小幅降低,其余处理均增加。消融后,处理F0.6、CK、F1.2、F0.9和DM全磷质量比分别降低0.15、0.10、0.09、0.06、0.02 g/kg,处理F0.3、YZ则升高。玉米收获后各处理的全磷含量与播前相比较,变化不一致。经过一个试验周期后,除处理F1.2与F0.9外,各处理的全磷质量比均升高,增加值在0.02~0.10 g/kg之间。

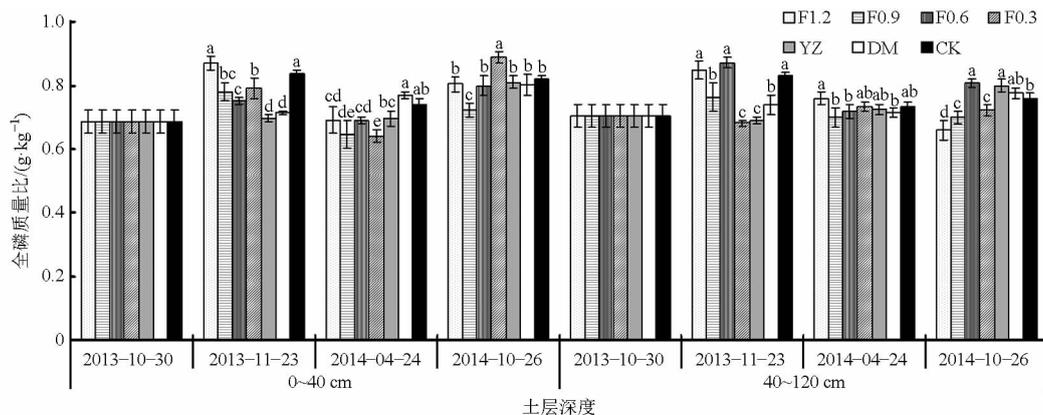


图3 0~40 cm和40~120 cm土层土壤全磷均值变化

Fig. 3 Average values of soil total P at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

### 2.1.3 土壤全钾含量变化

不同处理在不同取样期的土壤0~120 cm全钾含量变化如图4所示。0~40 cm土层,秋浇后,各处理全钾质量比较秋浇前增加了1.32~5.22 g/kg,处理DM增加值最小,处理F0.9、F0.6和YZ大于CK。冻融期结束后,处理CK、YZ和DM的全钾质量比较冻结前降低了6.42、4.46、4.19 g/kg,这是因为在秋浇至冻融期内,土壤速效钾含量因淋失而下降,非交换态钾逐渐释放,使得土壤全钾含量降低。玉米收获后,处理F1.2、F0.9和F0.6的全钾含量降低,处理CK、DM、YZ和F0.3的全钾含量则分别增加了93.62%、67.64%、13.06%和6.39%。经过一个试验周期后,处理CK、DM的全钾质量比增加了

10.80、6.62 g/kg,处理F1.2、F0.9则降低了2.50、1.20 g/kg。

对于耕层以下土层(40~120 cm),冻结前全钾质量比较秋浇前变化幅度小,变化范围在-1.83~2.07 g/kg之间。消融后,处理F1.2、F0.6的全钾含量较冻结前增加,其余处理则降低。玉米收获后各处理的全钾含量较播前增加,处理DM增加了79.52%,秸秆覆盖处理的全钾含量小于处理DM与CK。经过一个试验周期后,除YZ处理外,各处理的全钾含量升高,处理CK、DM的全钾含量增加值最大。

## 2.2 土壤速效养分分布特征

### 2.2.1 土壤碱解氮含量变化

碱解氮反映土壤近期内氮素供应情况,包括易

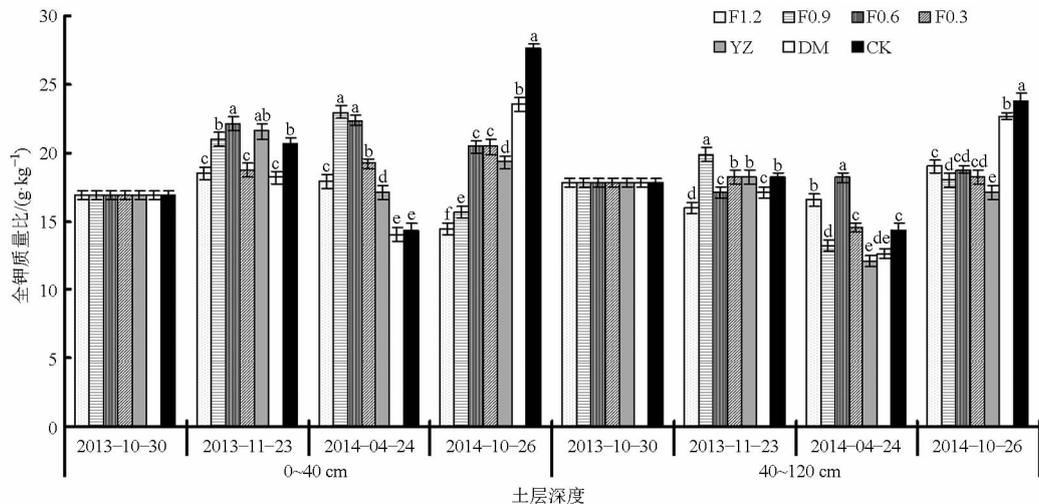


图 4 0~40 cm 和 40~120 cm 土层土壤全钾均值变化

Fig. 4 Average values of soil total K at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

水解的有机氮和无机氮(铵态氮和硝态氮),图 5 为不同取样期测定的土壤 0~120 cm 碱解氮含量变化过程。在秋浇前及试验期内,耕层的碱解氮含量均高于下部土层,碱解氮在耕层积聚。对于土壤耕层 0~40 cm,秸秆覆盖处理在试验期内的碱解氮含量均显著高于处理 DM、CK。冻结前,有机态氮向无机态氮转化,秸秆覆盖处理碱解氮质量比较秋浇前有较大增幅,处理 YZ 增加值最大,为 21.16 mg/kg,CK 则增加了 8.33 mg/kg,处理 DM 增加值最小。冻融期结束后,处理 F0.9 的碱解氮质量比较冻结前降低了 0.67 mg/kg,其他处理均较冻结前增加,处理 CK、DM 增幅高于秸秆覆盖处理,这是不同氮素形态间的转化与淋失过程共同作用的结果,冻融作用影响

了土壤矿化过程中微生物的存活和活性,使得土壤中速效氮含量变化<sup>[15-16]</sup>,同时在冻融期间地下水位的下降带走了可溶性氮素<sup>[2]</sup>。玉米收获后,由于玉米植株的吸收及收获物带走了大量的氮素,各处理碱解氮含量较冻融期结束时(玉米播前)大幅降低,降低幅度依次为: F0.6 > F0.3 > CK > F0.9 > F1.2 > YZ > DM。经过一个试验周期后,处理 YZ、F1.2 和 DM 的碱解氮含量升高,其余处理则降低。

对于耕层以下土层(40~120 cm),在冻结前,覆盖处理的碱解氮含量均较秋浇前增加,且均高于 CK。玉米收获后,秸秆覆盖处理和 CK 的碱解氮含量均高于玉米播前。经过一个试验周期后,处理 YZ、DM 的碱解氮含量升高,其余处理均降低。

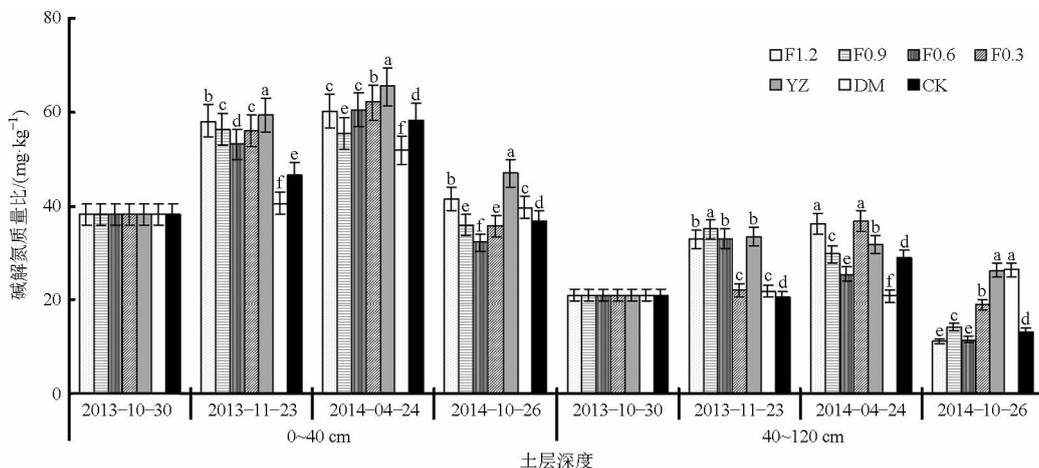


图 5 0~40 cm 和 40~120 cm 土层土壤碱解氮均值变化

Fig. 5 Average values of available soil N at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

2.2.2 土壤速效磷含量变化

速效磷是土壤中可被植物吸收的磷组分,包括全部水溶性磷、部分吸附态磷及有机磷,速效磷变化过程见图 6。在秋浇前及试验期内,耕层的速效磷含量均高于下部土层,速效磷在耕层积聚。在土壤

耕层 0~40 cm,秋浇后 23 d,各覆盖处理速效磷含量较秋浇前有较大增幅,F1.2 处理增加值最大。冻融期结束后,各处理速效磷含量较冻结前降低,秸秆覆盖降幅高于 CK、DM。经过玉米生育期后,各处理速效磷含量较玉米播前升高,处理 DM 增幅最明显,增

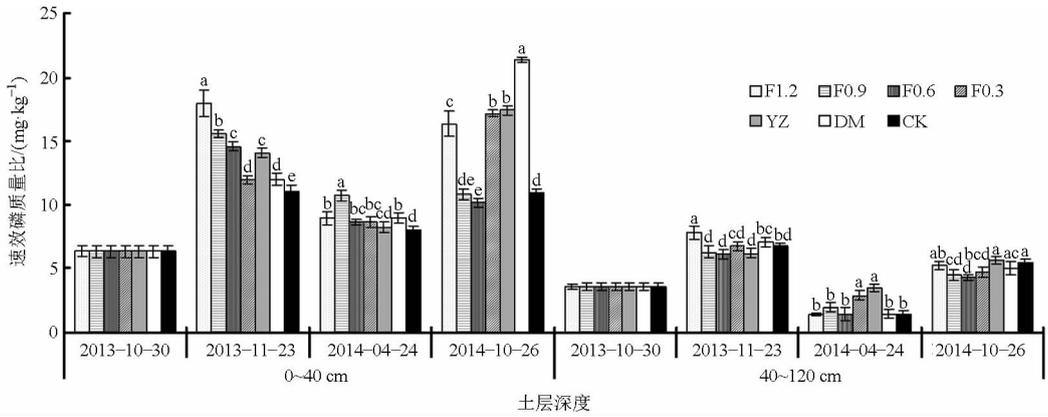


图6 0~40 cm和40~120 cm土层土壤速效磷均值变化

Fig. 6 Average values of available soil P at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

加了138.51%，处理F0.9增加了0.34%，增加幅度最小。这是由于基肥中磷素的施入及难溶性无机态磷酸盐向可溶态磷的转化作用<sup>[17]</sup>，使得土壤速效磷含量增加。经过一个试验周期后，各处理的速效磷质量比升高，处理DM、YZ、F0.3和F1.2分别增加了15.05、11.04、10.82、9.96 mg/kg，其余处理增幅较小。

对于耕层以下土层(40~120 cm)，在冻结前，覆盖处理的速效磷含量均较秋浇前增加。冻融期结束后，速效磷含量较冻结前降低。玉米收获后，速效磷含量均高于玉米播前。经过一个试验周期后，各处理的速效磷含量小幅升高。

### 2.2.3 土壤速效钾含量变化

速效钾是土壤中的水溶性钾，随土壤含水率及盐分浓度变化而变化。在秋浇前及试验期内，耕层的速效钾含量均高于下部土层(图7)。土壤耕层0~40 cm，在秋浇后，各覆盖处理速效钾质量比较秋浇前有较大增幅，F1.2处理增加值最大，为73.13 mg/kg，处理DM增加值最小。冻融期结束后，由于消融水的下渗使得水溶性钾淋失，各处理速效钾含量较冻结前降低，处理CK、DM的降幅高于秸秆覆盖处理。玉米生育期内，速效钾被植物吸收利用，缓效钾逐渐释放补充土壤中速效钾。玉米收获后，处理CK、DM的速效钾含量较玉米播前升高，秸秆覆盖处理则较播前降低。经过一个试验周期后，各处理的速效钾质量比升高，CK增加幅度最大，增加了70.09 mg/kg，地膜覆盖处理DM增加了20.50 mg/kg。

对于耕层以下土层(40~120 cm)，在冻结前，处理F0.3、CK的速效钾质量比分别降低1.28、7.06 mg/kg，其余覆盖处理的速效钾含量均较秋浇前增加。冻融期结束后，速效钾含量较冻结前降低。玉米收获后，处理F1.2、F0.9和DM的速效钾含量降低，处理F0.6、F0.3、YZ和CK速效钾含量均高于

玉米播前，CK较播前增加了114.39%。经过一个试验周期后，所有处理的速效钾含量均降低。

### 2.3 土壤有机质含量变化

土壤有机质是土壤肥力的物质基础，含有作物和微生物所需要的各种营养元素，图8为试验期内0~120 cm土层土壤有机质含量的变化。在秋浇前，0~40 cm土层的有机质质量比为5.25 g/kg，高于40~120 cm土层(3.36 g/kg)。试验期内各处理耕层有机质含量都高于下部土层。

对于0~40 cm土壤耕层，秋浇后23 d，各处理有机质含量均较秋浇前增加，处理F0.9有机质含量最高，较秋浇前增加了2.05 g/kg。冻融期结束后(玉米播前)，处理F1.2、F0.6的有机质含量显著高于其他处理。秸秆覆盖处理有机质质量比较冻结前增加了0.23~2.22 g/kg，这是因为在较高土壤水分的环境下，上茬植物残留物及表层的覆盖秸秆腐殖化增加了腐殖质的积累量。处理DM、CK的有机质质量比则分别降低了2.13、1.65 g/kg。玉米收获后，CK的有机质含量较播前增加了17.59%，覆盖处理则较播前降低，秸秆覆盖处理降低了22.61%~43.67%，处理DM降低了2.43%，这是因为覆盖处理适宜的土壤水分和通气状况有利于有机质分解，有机质的矿化作用较强，有机质分解为作物生长提供养分，可促进玉米的生长发育。CK则在一定程度上抑制了有机质的矿化过程，促进了土壤中有有机质的积累。经过一个试验期后，处理F1.2、F0.9和CK的有机质质量比较试验前增加了0.45~1.35 g/kg，其余处理则降低。处理DM的有机质含量在研究期内整体低于秸秆覆盖处理，这是因为地膜覆盖下较高的土壤温度，有利于土壤微生物活动，有机质分解加快，加速了矿物质的营养转化，可利用养分含量增加。

对于耕层以下土层(40~120 cm)，冻结前，处理F1.2的有机质质量比较秋浇前增加了0.40 g/kg，

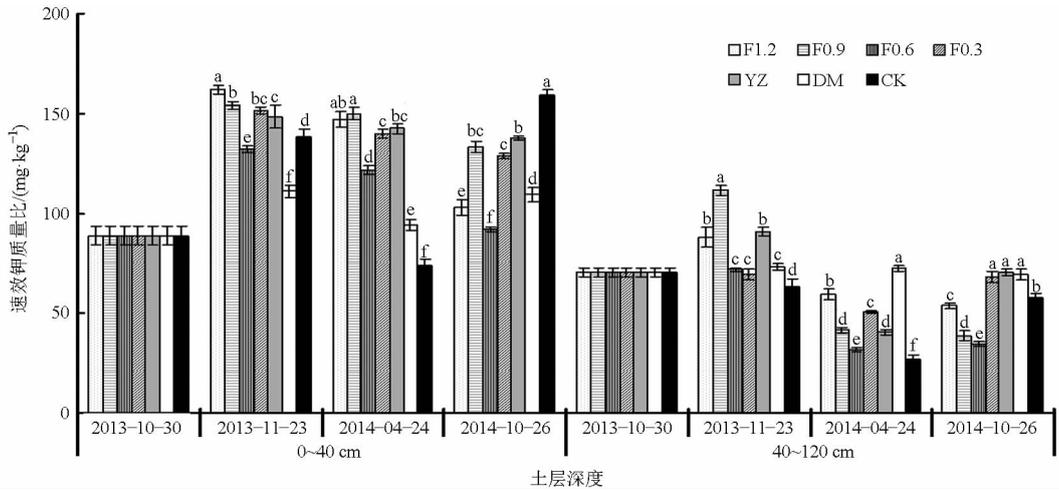


图 7 0~40 cm 和 40~120 cm 土层土壤速效钾均值变化

Fig. 7 Average values of available soil K at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

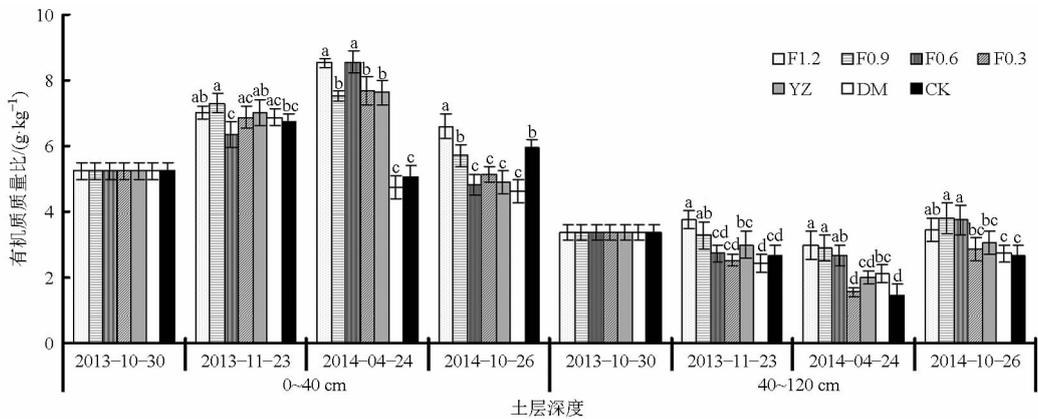


图 8 0~40 cm 和 40~120 cm 土层土壤有机质均值变化

Fig. 8 Average values of soil organic matter at 0~40 cm and 40~120 cm soil depths

其余处理均降低。消融后,各处理有机质含量较冻结前降低,这是因为土壤中可溶性有机物随着地下水位的下降及消融水的运动而流失。玉米收获后各处理的有机质含量与播前相比较,均大幅度增加,秸秆覆盖处理增加了 15.77%~82.57%,处理 DM 增加了 28.20%,CK 增加了 85.51%。经过一个试验周期后,处理 F1.2、F0.9 和 F0.6 的有机质质量比增加了 0.09~0.44 g/kg,其余处理则较试验前降低,CK 降低了 0.70 g/kg,降低值最大。

### 3 讨论

#### 3.1 秋浇至冻融期养分迁移转化分析

农田灌溉水入渗补给与地下水补排关系是河套灌区农田水分动态的主要形式<sup>[18]</sup>。冻结期间可溶性盐分的迁移与地下水的排水排盐条件是密切相关的<sup>[19]</sup>,试验地相对高差及研究区排水设施的完善程度都影响着秋浇至冻结期间可溶性养分的迁移与淋洗特征。本试验在秋浇后,地下水位在地表附近,土壤水分达到饱和状态,地下水位伴随着土壤冻结过程逐渐下降,而在消融期,消融水蒸发散失、下渗补

给地下水。因此,秋浇期土壤可溶性养分溶解,在冻结期及融化期从田间淋失。

微生物是土壤有机质转化的驱动力,土壤温度、水、理化性质、通气性和 C/N 比等因素均通过影响微生物的活动来影响土壤中有有机质转化,土壤中酶活性以及土壤微生物量的变化会直接影响土壤中养分含量<sup>[7,10]</sup>,地表覆盖后改变了这些影响因素,使不同处理间养分含量存在差异。由于土壤冻融过程造成细根的死亡和有机质的释放,加速土壤中有有机质矿化与硝化速率,增加土壤溶液中可溶性有机物和养分的浓度,一部分随着冻土的融化而流失<sup>[2,4,7]</sup>,冻融期养分的转化及迁移、养分的淋溶同时发生,河套灌区秋浇及排水系统的不畅通,造成了冻融期养分的迁移与转化并非受单纯的季节性冻融循环的影响。秋浇后至冻融期内土壤养分的变化机理比较复杂。

#### 3.2 覆盖对春播时土壤供肥能力的影响

实现作物高产的前提之一是加强养分累积的同时,不断促进其分解和释放,增强土壤的供肥能力,以满足作物生长需求。本研究将全效养分与速效养

分结合起来,定义速效养分占全效养分的比值为养分的供应强度<sup>[20]</sup>,可以反映养分转化与供应能力的大小。春播时耕层土壤氮、磷、钾供应强度见图9,用以分析消融期结束后玉米播前耕层(0~40 cm)土壤供肥能力。春播时土壤氮素含量:覆盖处理的全氮含量低于CK,处理DM的全氮含量最低。覆盖处理的氮素供应强度强于CK,处理F1.2、YZ的氮素供应强度大于其余处理。秸秆覆盖处理的全氮含量小但供应强度大,春播时需施入氮肥。春播时土壤磷素含量:秸秆覆盖处理的全磷含量低于CK、DM,即供磷肥容量小于CK、DM。秸秆覆盖处理的磷素供应强度大于CK、DM,处理F0.9的磷素供应强度最大。秸秆覆盖处理的全磷含量小但供应强度

大,春播时需补充磷肥,以保证作物的生长,处理DM与CK则需要通过改变土壤水土环境来促进土壤磷素的释放。春播时土壤钾素含量:秸秆覆盖处理的全钾含量高于CK、DM,秸秆覆盖提高了土壤供钾的潜力。处理F0.9、F0.6的全钾含量高于其余处理,具有较大的供钾肥容量。秸秆覆盖处理的钾素供应强度高于CK,处理F1.2、YZ的钾素供应强度大于其余处理。与CK相比较,秸秆覆盖使耕层土壤可以满足玉米播种及后续生长过程中的钾肥需求。根据此研究成果,结合河套灌区玉米田土壤养分丰缺指标的相关研究<sup>[21]</sup>,确定合理的肥料用量和施肥比例,可促进玉米的生长,提高施肥效益,减少面源污染。

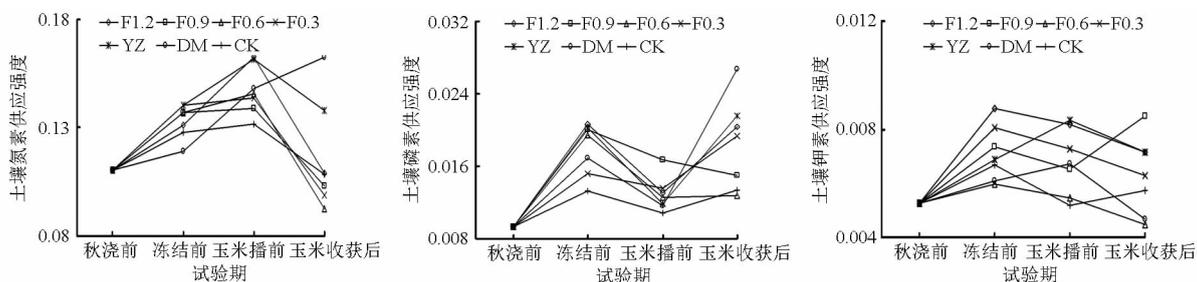


图9 春播时耕层土壤氮、磷、钾供应强度

Fig. 9 Supply intensities of soil N, P and K in ploughed soil layer

## 4 结论

(1)秋浇后地下水位较高,土壤冻融期内土壤水分与地下水间具有补排关系,冻融期养分的转化及迁移、养分的淋溶同时发生,秋浇后至冻融期内土壤养分的变化过程具有其复杂性。

(2)对于玉米播前耕层(0~40 cm)土壤的供肥能力,秸秆覆盖处理的全氮、全磷含量小但供应强度大,春播时需施入氮肥、磷肥。处理DM与CK需要通过改变土壤水土环境来促进土壤磷素的释放。秸秆覆盖处理可以满足在玉米播种及后续生长过程中的钾肥需求。合理的覆盖方式可在加强养分累积的同时,不断促进其分解和释放,增强土壤的供肥能力,实现作物高产。

(3)经过一个试验周期后,相同的施肥条件下,在0~40 cm土层,处理DM的全氮含量较试验前降

低,其余处理变化幅度较小。各处理的全磷含量较试验前增加。处理CK、DM的全钾含量较试验前增加,处理F1.2、F0.9则降低。处理YZ、F1.2和DM的碱解氮含量升高,而其余处理则降低。各处理的速效钾、速效磷含量均较试验前升高。处理F1.2、F0.9和CK的有机质含量较试验前增加,其余处理则降低。在40~120 cm土层,各处理的全氮含量均较试验前降低,但全磷含量增加。除处理YZ外,各处理的全钾含量较试验前升高。处理F1.2、F0.9和F0.6的有机质含量增加,其余处理则较试验前降低。处理YZ、F1.2和DM的碱解氮含量较试验前升高,而其余处理降低。各处理速效钾及速效磷含量较试验前升高。地表覆盖改变了土壤的水土环境,使不同处理间养分含量存在差异。本研究获取的养分再分布定量化数据,可为灌区农业施肥管理提供技术支持。

## 参 考 文 献

- 杨林章,孙波,刘健. 农田生态系统养分迁移转化与优化管理研究[J]. 地球科学进展,2002,17(3):441-445.  
Yang Linzhang, Sun Bo, Liu Jian. Progress in translocation and transformation of nutrients in agroecosystems and its optimized management[J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(3): 441-445. (in Chinese)
- 杜军,杨培岭,李云开,等. 不同灌期对农田氮素迁移及面源污染产生的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(1):66-74.  
Du Jun, Yang Peiling, Li Yunkai, et al. Effect of different irrigation seasons on the transfer of N in different types farmlands and the no-point pollution production [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 66-74. (in Chinese)
- 刘德平. 基于盐渍化灌区水土环境安全的优化施肥模式研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.

- 4 王洋,刘景双,王国平,等. 冻融作用与土壤理化效应的关系研究[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(2):91-96.  
Wang Yang,Liu Jingshuang,Wang Guoping,et al. Study on the effect of freezing and thawing action to soil physical and chemical characteristics[J]. Geography and Geo-Information Science,2007,23(2):91-96. (in Chinese)
- 5 孙辉,秦纪洪,吴杨. 土壤冻融交替生态效应研究进展[J]. 土壤,2008,40(4):505-509.  
Sun Hui,Qin Jihong,Wu Yang. Freeze-thaw cycles and their impacts on ecological process:a review[J]. Soils,2008,40(4):505-509. (in Chinese)
- 6 胡钰,香宝,刘玉萍,等. 冻融交替对东北地区典型土壤氮磷浓度的影响[J]. 环境工程技术学报,2012,2(4):333-338.  
Hu Yu,Xiang Bao,Liu Yuping,et al. Freeze-thaw cycle effects on nitrogen and phosphorus content in typical soils of northeast China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2012,2(4):333-338. (in Chinese)
- 7 王凤,朱岩,陈思,等. 冻融循环对典型地带土壤速效氮磷及酶活性的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(24):118-123.  
Wang Feng,Zhu Yan,Chen Si,et al. Effect of freeze-thaw cycles on available nitrogen and phosphorus, enzymatic activities of typical cultivated soil[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(24):118-123. (in Chinese)
- 8 Deng S P,Tabatabai M A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: I. amidohydrolases[J]. Biology and Fertility of Soils,1996,22(3):202-207.
- 9 罗海珠,黄高宝,蔡立群,等. 不同耕作方式下春小麦生育期土壤酶时空变化研究[J]. 草业学报,2012,21(6):94-101.  
Luo Zhuzhu,Huang Gaobao,Cai Liqun,et al. Temporal and spatial disparities of soil enzyme activities during the spring wheat growing season under different tillage systems[J]. Acta Prataculturae Sinica,2012,21(6):94-101. (in Chinese)
- 10 王静,张天佑,徐万海,等. 旱地全膜覆盖种植模式对土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报,2012,28(6):738-741.  
Wang Jing,Zhang Tianyou,Xu Wanhai,et al. Effects of overall film mulching on soil enzyme activities in dryland[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2012,28(6):738-741. (in Chinese)
- 11 汪可欣,付强,姜辛,等. 秸秆覆盖模式对玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报,2014,45(12):181-186.  
Wang Kexin,Fu Qiang,Jiang Xin,et al. Effect of straw mulching mode on maize physiological index and water use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(12):181-186. (in Chinese)
- 12 解文艳,樊贵盛,周怀平,等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(11):60-67.  
Xie Wenyan,Fan Guisheng,Zhou Huaiping,et al. Effect of straw-incorporation on corn yield and water use efficiency in arid farming areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(11):60-67. (in Chinese)
- 13 Shi Haibin,Akai Takeo,Chen Yaxin,et al. Simulation of leaching requirement for Hetao Irrigation District considering salt redistribution after irrigation[J]. Transactions of the CSAE,2002,18(5):67-72.
- 14 余根坚,黄介生,高占义. 基于 HYDRUS 模型不同灌水模式下土壤水盐运移模拟[J]. 水利学报,2013,44(7):826-834.  
Yu Genjian,Huang Jiasheng,Gao Zhanyi. Study on water and salt transportation of different irrigation modes by the simulation of HYDRUS model[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2013,44(7):826-834. (in Chinese)
- 15 Esala M J. Changes in the extractable ammonium- and nitrate-nitrogen contents of soil samples during freezing and thawing[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1995, 26(1-2):61-68.
- 16 Schimel J P,Clein J S. Microbial response to freeze-thaw cycles in tundra and taiga soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996,28(8):1061-1066.
- 17 王若水,康跃虎,万书勤,等. 水分调控对盐碱地土壤盐分与养分含量及分布的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(14):96-104.  
Wang Ruoshui,Kang Yaohu,Wan Shuqin,et al. Effects of water regulation methods on soil salt, nutrient content and its distribution in overlying saline wasteland[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(14):96-104. (in Chinese)
- 18 张志杰,杨树青,史海滨,等. 内蒙古河套灌区灌溉入渗对地下水的补给规律及补给系数[J]. 农业工程学报,2011,27(3):61-66.  
Zhang Zhijie,Yang Shuqing,Shi Haibin,et al. Irrigation infiltration and recharge coefficient in Hetao Irrigation District in Inner Mongolia[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(3):61-66. (in Chinese)
- 19 彭振阳,黄介生,伍靖伟,等. 秋浇条件下季节性冻融土壤盐分运动规律[J]. 农业工程学报,2012,28(6):77-81.  
Peng Zhenyang,Huang Jiasheng,Wu Jingwei,et al. Salt movement of seasonal freezing-thawing soil under autumn irrigation condition[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(6):77-81. (in Chinese)
- 20 陆欣,谢英荷. 土壤肥料学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2011.
- 21 李文彪,刘荣乐,郑海春,等. 内蒙古河套灌区春玉米推荐施肥指标体系研究[J]. 中国农业科学,2012,45(1):93-101  
Li Wenbiao,Liu Rongle,Zheng Haichun,et al. Study on index system of optimal fertilizer recommendation for spring corn in Hetao irrigation area of Inner Mongolia[J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(1):93-101. (in Chinese)