

# 减量施氮及秸秆深埋对春玉米地土壤电导率和硝态氮淋溶的影响

吴三鼎<sup>1,3</sup>, 董强<sup>1,3</sup>, 党廷辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 通过在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站半覆膜种植春玉米大田试验, 研究了减量施氮及秸秆深埋对土壤电导率、土壤硝态氮淋溶和玉米产量的影响, 旨在为提高氮肥利用效率和保护环境提供理论依据。试验设5个处理3个重复, 处理包括不施氮(CK)、常规施氮(CON1, N 250 kg/hm<sup>2</sup>)、常规施氮加秸秆(CON2, N 250 kg/hm<sup>2</sup> + 秸秆)、减量施氮(CR1, N 200 kg/hm<sup>2</sup>)和减量施氮加秸秆(CR2, N 200 kg/hm<sup>2</sup> + 秸秆)。测量了春玉米各生育期土层剖面土壤电导率、收获期土壤硝态氮含量和春玉米产量。结果表明: 土壤电导率在分蘖期、拔节期40—150 cm土层出现峰值, 在抽穗期、成熟期40—200 cm土层出现峰值, 峰值范围下移。在0—150 cm土层范围内, 土壤电导率整体呈现CON2>CON1, CR2>CR1。在0—150 cm土层范围内, 常规施氮土壤电导率高于减量施氮。与常规施氮相比, 减量施氮减少了土壤剖面硝态氮含量, 同时, 采取秸秆深埋措施也能减少土壤剖面硝态氮含量, 并延缓硝态氮的淋溶下移。与常规施氮相比, 减量20%施氮增产9.59%。施氮条件下, 秸秆深埋时, 有利于提高作物产量, 提高氮肥增产潜力。秸秆深埋有利于提高土壤电导率, 减少土壤硝态氮含量, 阻控土壤硝态氮向下淋溶, 提高玉米产量。

**关键词:** 减量施氮; 秸秆深埋; 土壤电导率; 硝态氮淋溶

中图分类号: S143.1; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0046-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.008

## Effects of Reduced Nitrogen Application and Deep Burial of Straw on Soil Electrical Conductivity and Nitrate Nitrogen Leaching in Spring Maize Field

WU Sanding<sup>1,3</sup>, DONG Qing<sup>1,3</sup>, DANG Tinghui<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** The effects of reduced nitrogen application and straw deep buried on soil electrical conductivity, yield of maize and residuals of soil nitrate nitrogen were researched through field experiment conducted in spring maize planted with semi-plastic film in the Changwu State Key Agro-Ecological Station, and aimed to provide theoretical support for improving the efficiency of nitrogen use and protecting the environment. The experiment included five treatments with three replicates, no nitrogen fertilization application (CK), conventional nitrogen fertilization application (CON1, N 250 kg/hm<sup>2</sup>), conventional nitrogen fertilization plus straw (CON2, N 250 kg/hm<sup>2</sup>), reduced nitrogen fertilization application (CR1, N 200 kg/hm<sup>2</sup>), and reduced nitrogen fertilization application plus straw (CR2, N 200 kg/hm<sup>2</sup>). The soil electrical conductivity at different growth stages of spring maize was investigated, and the soil nitrate nitrogen content and spring maize yield during the harvest period were measured. The results showed that: the peak values of soil electrical conductivity at the stages of maize tillering and jointing appeared at the soil profile of 40—150 cm, at the stages of maize heading and maturing the peak values of soil electrical conductivity appeared at the soil profile of 40—200 cm, and the range of peak value moved down. In the 0—150 cm soil profile, the soil electrical conductivity

收稿日期: 2018-07-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0800105-3)

第一作者: 吴三鼎(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤化学研究。E-mail: 2313705336@qq.com

通信作者: 党廷辉(1964—), 男, 研究员, 主要从事土壤化学与环境研究。E-mail: dangth@ms.iswc.ac.cn

followed the order of CON2 > CON1, CR2 > CR1. In the 0—150 cm soil layer, the soil electrical conductivity of conventional nitrogen application was higher than those of reduced nitrogen application treatments. Compared with the traditional nitrogen fertilization application, the reduced nitrogen application reduced the nitrate nitrogen content in the soil profile. At the same time, deep buried straw could also reduce the nitrate nitrogen content in the soil profile and postpone the soil nitrate nitrogen leaching. Compared with the traditional nitrogen application, 20% reduction of nitrogen fertilization could increase the maize yield by 9.59%. On the condition of nitrogen application, deep burying of straw was beneficial to increase crop yield and the potential of nitrogen production. Straw deep burying was beneficial to improve soil electrical conductivity, reduce soil nitrate nitrogen content, control soil nitrate nitrogen leaching and increase corn yield.

**Keywords:** reduced nitrogen application; straw deep buried; soil electrical conductivity; nitrate nitrogen leaching

自中国首次施用氮肥,至今已有 50 多年的历史。氮肥对促进中国粮食产量大幅提高起到了十分重要的作用<sup>[1]</sup>,对我国粮食安全做出了巨大的贡献。农业生产中氮肥用量不断增加<sup>[2]</sup>,作物收获后残留在土壤的肥料氮量也随之增加,过量施氮导致土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 在土壤剖面中淋溶累积,长期施用氮肥的土壤在 40—100 cm 深度当季硝态氮累积量达到 73.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>;单施氮肥 180 kg/hm<sup>2</sup>,23 年后 0—300 cm 土层硝态氮残留量高达 1 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。有研究<sup>[5]</sup>表明,氮肥用量为 250 kg/hm<sup>2</sup> 时,一季玉米收获后残留在土壤中的肥料氮占到 33%。土壤硝态氮累积于土壤中,将会产生一系列负面环境效应,易造成面源污染和地表水的富营养化<sup>[6]</sup>,对地下水构成潜在污染<sup>[7]</sup>。据监测资料<sup>[8]</sup>显示,80% 监测点地下水为 IV 和 V 类,与农田淋溶相关的“三氮”(氨氮、亚硝态氮、硝态氮)是最主要的污染源。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 进入人体后还原为亚硝酸盐,进而形成亚硝基化合物,亚硝基化合物是一种致癌、致突变性的物质,严重威胁到人体健康。因此,对土壤硝态氮的淋溶阻控研究将对保护生态环境安全尤为重要。

我国每年会产生大量秸秆资源,秸秆年产量约 7.9 亿 t<sup>[9]</sup>。但是我国对秸秆资源的利用存在严重的不合理现象,大量的秸秆被焚烧,这不仅会造成资源的浪费,而且给生态环境造成了巨大的压力。秸秆还田能减少因秸秆焚烧而带来的一系列环境污染问题,对保护农田生态环境具有重要的意义。本文采用秸秆深埋还田措施,研究其对土壤硝态氮淋溶的影响;同时,研究秸秆深埋措施对土壤环境的影响。土壤电导率作为一种复杂的土壤理化参数,其大小可以反映土壤肥力综合水平的高低<sup>[2]</sup>。因此,研究秸秆还田对土壤电导率的影响可反映秸秆还田对土壤肥力的改造能力,对促进农业持续发展具有重要的指导意义。

陕西长武位于黄土高原沟壑区南部,属于典型的旱作农业区,年降水量较少,水分成为农业生产的限

制因子。在此背景下,本研究通过玉米大田试验,以当地农民常规施氮为对照,研究减量施氮及秸秆深埋对春玉米不同生育期土壤电导率、收获期玉米产量、收获期土层硝态氮含量的影响,为当地秸秆资源可持续利用与环境保护提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2017 年 4—9 月,在陕西省长武县的中国科学院长武黄土高原农业生态试验站进行,该试验站位于黄土高原南部沟壑区的陕西省长武县境内(东经 107°40′,北纬 35°12′,海拔 1 220 m),为半干旱湿润性季风气候。根据长武县气象局资料统计,年均降水量为 584 mm,其中最高年份为 813 mm,最低年份 369 mm。7—9 月的降水量占年总量的 57%。年平均气温 9.2 ℃,≥10 ℃积温为 3 029 ℃,年日照时间 2 230 h,日照率为 51%,年辐射总量为 484 kJ/cm<sup>2</sup>,无霜期 171 d,无灌溉条件,属于典型的雨养农业区。

试验地土壤为黑垆土,母质为黏壤质马兰黄土,土质疏松,土层深厚。试验开始前土壤有机碳含量 6.50 g/kg,全氮含量 0.80 g/kg,速效磷含量 5.0 mg/kg,碱解氮含量 37.0 mg/kg,碳酸钙含量 10.5%,速效钾含量 129.3 mg/kg,pH 8.4。土壤黏粒含量(<0.002 mm)24%,粉粒含量 71%,沙粒含量 8%,0—20 cm 容重 1.3 g/cm<sup>3</sup>,土壤田间持水量 21.0%~23.8%,凋萎含水量 9%~12%。

### 1.2 试验设计

本试验采取随机区组设计,每个小区面积 46.75 m<sup>2</sup> (8.5 m×5.5 m),小区间距 0.5 m。各处理见表 1。

表 1 试验处理

处理代码	秸秆处理	施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
不施肥(CK)	对照	0
减量施氮(CR1)	无秸秆	200
减量施氮加秸秆(CR2)	秸秆深埋	200
常规施氮(CON1)	无秸秆	250
常规施氮加秸秆(CON2)	秸秆深埋	250

秸秆深埋方式:在玉米收获后,在 CR2 和 CON2 小区内,将上一年度全区秸秆开沟埋入土层 20—30 cm,与当地农机旋耕深度一致。上述 5 个处理重复 3 次,各处理除氮肥施用量不同外,均施钾肥( $K_2O$ )38 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥( $P_2O_5$ )120 kg/hm<sup>2</sup>。其中氮肥为普通尿素(含氮 46.4%),钾肥为硫酸钾(含  $K_2O$  51%),磷肥为过磷酸钙(含  $P_2O_5$  16%)。施肥方法:氮磷钾肥播前一次性施入,不追肥。春玉米品种选用“先玉 335”,行距 60 cm,株距 30 cm,种植密度为 57 000 株/hm<sup>2</sup>。采用半覆膜方式种植,膜宽 60 cm,膜间距 30 cm,膜上打洞种植。供试地膜厚为 0.008 mm,宽为 750 mm。

### 1.3 项目测定与方法

1.3.1 产量测定 玉米收获时,每个小区选取 4 m × 4 m(16 m<sup>2</sup>)样方,把地上部分、玉米穗棒分别称重,然后从中选取能代表该小区的 15 株作为代表样,带回实验室,经过前期处理和风干过程,分别称取其生物量、籽粒产量的鲜重和风干重,计算生物量和籽粒产量。

1.3.2 植物样品采集与测定 每个小区选取具有代表性的植株 3 株,齐地面割下地上部分,转入档案袋中,称量后装入纸袋中,在 105 ℃ 条件下杀青 30 min,然后在 75 ℃ 条件下烘干至恒重,测定其干物质重后,粉碎过 60 目筛,用  $H_2SO_4-H_2O_2$  法消煮,凯氏定氮仪测定植物全氮<sup>[10]</sup>。

1.3.3 土壤水分、硝态氮含量测定 春玉米收获期间,用直径 3 cm 的土钻采集 0—200 cm 分层土样。每个小区选取膜上、膜间 2 点,0—100 cm,每个土层 10 cm,100—200 cm 每个土层 20 cm。同一小区同一土层 2 点土样混合后装入密闭塑料袋中,冷藏备用。在采样过程中,同时取适量土样放入铝盒,烘干测定土壤含水量。在实验室里,将待测土样过 3 mm 筛后,取 5.0 g 鲜土样,用 50 mL KCl (1 mol/L)溶液浸提。振荡 1 h 后过滤,用流动分析仪测定  $NO_3^- - N$  含量<sup>[11]</sup>。

1.3.4 土壤电导率测定 土壤电导率采用澳作公司 TDR 仪测量<sup>[12]</sup>,在常规施氮(CON1,250 kg/hm<sup>2</sup>)、常规施氮加秸秆深埋(CON2,250 kg/hm<sup>2</sup>)、减量施氮(CR1,200 kg/hm<sup>2</sup>)、减量施氮加秸秆深埋(CR2,200 kg/hm<sup>2</sup>)每个小区埋设 300 cm 深的 TDR 测量管,土壤电导率的测定分春玉米生育期进行。

### 1.4 计算公式

土壤硝态氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>)=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)×土壤硝态氮含量(mg/kg)/10

氮肥农学效率(kg/kg)=[施氮区玉米产量(kg/hm<sup>2</sup>)—对照区玉米产量(kg/hm<sup>2</sup>)]/施氮量(kg/hm<sup>2</sup>)

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区产量(kg/hm<sup>2</sup>)/施氮量(kg/hm<sup>2</sup>)

氮收获指数(%)=籽粒氮积累总量(kg/hm<sup>2</sup>)/植株氮素积累总量(kg/hm<sup>2</sup>)

### 1.5 数据处理

用 Excel 2010 软件进行数据统计,数据分析采用 SPSS 22 软件分析,用 OriginPro 8 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆深埋有利于增加土壤电导率

由图 1 可知,在玉米分蘖期、拔节期,土壤电导率在土层剖面上的变化趋势相似,在 40—150 cm 出现峰值,150—300 cm 变化不大,无明显差异。而在玉米抽穗期、成熟期,土壤电导率峰值下移,出现在 40—200 cm 范围。在玉米分蘖期,处理间土壤电导率差异不大,随着玉米生长,拔节期、抽穗期、成熟期处理间的差异逐渐明显,这与施入的肥料在土壤中转化、分解、扩散、迁移有关。在春玉米拔节期、抽穗期、成熟期,土层 0—150 cm,常规施氮(CON1)土壤电导率高于减量施氮(CR1)土壤电导率,每土层平均增加 0.36 dS/m,增加幅度为 13.37%。在春玉米拔节期、抽穗期、成熟期,减量施氮条件下,土壤电导率在 0—60 cm 差异不大,在 60—150 cm 土壤电导率表现为减量施氮加秸秆深埋(CR2) > 减量施氮(CR1),每土层平均增加 0.13 dS/m,增加幅度为 4.45%。在春玉米拔节期、抽穗期、成熟期,常规施氮条件下,在 0—150 cm 范围内,土壤电导率表现为常规施氮加秸秆深埋(CON2) > 常规施氮加秸秆(CON1),每土层平均增加 0.34 dS/m,增加幅度为 12.37%。表明高施氮和秸秆深埋有利于提高土壤电导率,增加土壤有效离子含量。

### 2.2 秸秆深埋及减量施氮减少土壤剖面硝态氮淋溶累积

秸秆深埋与减量施氮均能减少土壤剖面硝态氮含量(图 2)。CON2 与 CON1 处理的剖面硝态氮含量相比,0—80 cm 范围内的硝态氮含量无明显差异;80—180 cm 范围内,CON1 处理的硝态氮含量高于 CON2 处理,且 CON1 处理在 100 cm 处出现峰值(8.52 mg/kg),180 cm 后 CON2 处理的硝态氮含量高于 CON1 处理。CR2 处理与 CR1 处理相比,0—60 cm 范围内,CR1 处理的硝态氮含量高于 CR2 处理,70—100 cm 范围内,CR1 处理的硝态氮含量低于 CR2 处理,之后 2 个处理间没有显著差异。说明秸秆深埋在一定程度上能减少土壤剖面的硝态氮含量。处理 CON1 与 CR1 处理相比,0—80 cm 范围内,2 个处理间的土壤硝态氮含量无明显差异,80 cm 以下,CON1 处理的土壤剖面硝态氮含量高于 CR1 处理。说明减量施氮能够减少土壤剖面中硝态氮的淋溶。

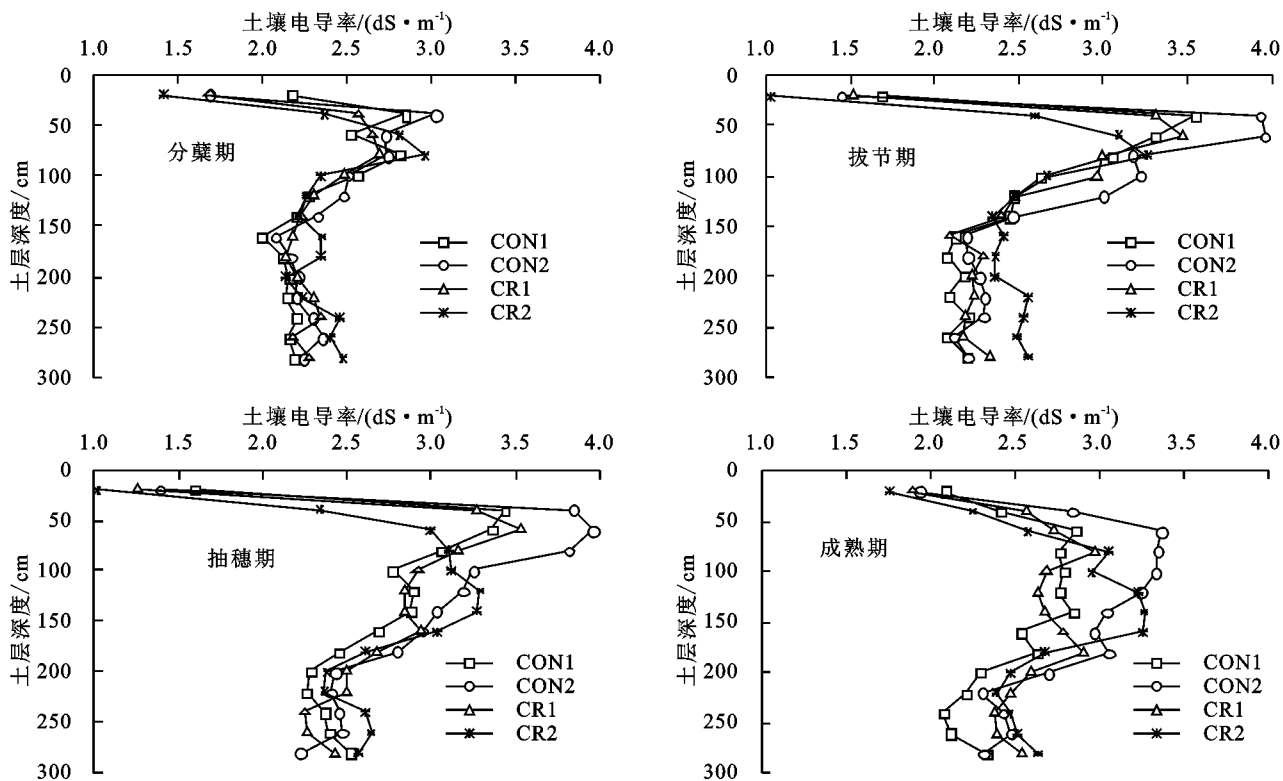


图 1 玉米不同生育期土壤电导率随土层深度的变化

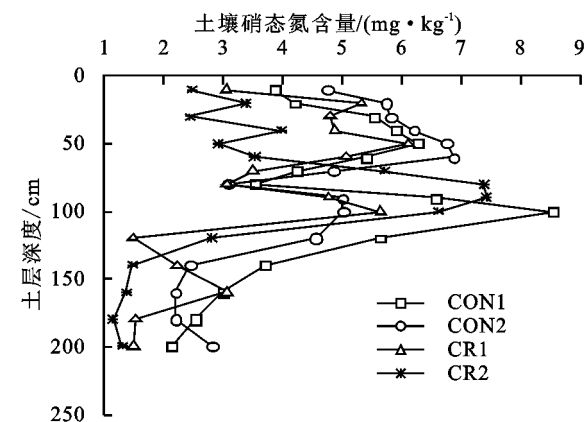


图 2 秸秆深埋和减量施氮对土壤剖面硝态氮分布的影响

由表 2 可知,常规栽培条件下,CON1 处理与 CR1 处理相比,CR1 处理在 0—200 cm 范围内的硝态氮累积量低于 CON1 处理,减少了 30.29 kg/hm<sup>2</sup>; 秸秆深埋条件下,CON2 处理与 CR2 处理相比,CR2 处理 0—200 cm 范围内的硝态氮累积量较 CON2 处理减少 27.75 kg/hm<sup>2</sup>。常规施氮条件下,CON2 处理 0—200 cm 范围内的硝态氮累积量较 CON1 处理减少 7.76 kg/hm<sup>2</sup>; 减量施氮条件下,CR2 处理较 CR1 处理 0—200 cm 范围内的硝态氮累积量减少 5.22 kg/hm<sup>2</sup>。此外,在 100—200 cm 范围内,CON2 较 CON1 处理的硝态氮累积量减少 7.79 kg/hm<sup>2</sup>, CR2 处理较 CR1 处理的土壤硝态氮累积量减少 4.74 kg/hm<sup>2</sup>。说明秸秆深埋和减量施氮能够显著降低土壤硝态氮向下的淋移,减少 0—200 cm 范围内土壤硝态氮的累积量。

表 2 秸秆深埋及减量施氮对土壤剖面硝态氮累积量的影响  
单位: kg/hm<sup>2</sup>

土层深度/cm	CON1	CON2	CR1	CR2
0—100	70.17a	70.2a	60.03b	59.55b
100—200	47.53a	39.74a	27.38b	22.64b
0—200	117.70a	109.94a	87.41b	82.19b

注:同行数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

### 2.3 秸秆深埋及减量施氮提高春玉米产量及氮肥利用效率

秸秆深埋和减量施氮均有增产效果(表 3)。籽粒产量大小为 CR2>CR1>CON2>CON1, 减量施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 籽粒产量显著 ( $P<0.1$ ) 高于常规施氮 250 kg/hm<sup>2</sup>。地上部生物量在各处理间无显著差异。常规施氮(250 kg N/hm<sup>2</sup>) 条件下,秸秆深埋处理使籽粒产量增加 355.00 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅为 2.7%。减量施氮时,秸秆深埋处理使产量增加 1 618.42 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅为 11.24%。说明秸秆深埋能够提高春玉米产量。与常规施氮(CON1)相比,减量施氮(CR1)籽粒产量增加 1 259.62 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅为 9.59%。说明减量施氮并不会造成减产,相反会增加春玉米的产量。收获期各处理春玉米吸氮量及氮素利用效率的结果(表 3)表明,籽粒吸氮量和植株吸氮量大小均表现为 CR2>CON2>CON1>CR1, 籽粒吸氮量在各处理间无显著差异性。常规施氮 250 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,秸秆深埋措施使籽粒吸氮量和植株吸氮量分别增

加 18.01, 8.92 kg/hm<sup>2</sup>。减量施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 秸秆深埋措施使籽粒吸氮量和植株吸氮量分别增加 25.8, 34.78 kg/hm<sup>2</sup>。说明秸秆深埋能够提高春玉米植株的吸氮能力。氮肥农学效率大小为 CR2>CR1>CON2>CON1。常规施氮 250 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 秸秆深埋处理使氮肥农学效率提高了 2.00%。减量施氮 200

kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 秸秆深埋处理使氮肥农学效率提高了 14.99%。氮肥偏生产力大小为 CR2>CR1>CON2>CON1, CR2 处理偏生产力最高, 且显著高于 CON2、CON1, 表明减量施氮添加秸秆深埋处理氮肥增产潜力最大。氮收获指数大小为 CON2>CR2>CR1>CON1, 各处理间没有显著差异。

表 3 秸秆深埋及减量施氮对春玉米产量及氮素利用效率的影响

处理	籽粒产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	地上部生物量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	籽粒吸氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	植株吸氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	氮肥农学效率/ (kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥偏生产力/ (kg·kg <sup>-1</sup> )	氮收获 指数/%
CON1	13137.00a	28481.92a	176.30a	245.03ab	41.29a	52.55a	71.95a
CON2	13492.00a	29665.29a	194.31a	253.95ab	42.71ab	53.97ab	76.52a
CR1	14396.62b	32137.28ab	175.20a	237.42a	57.91abc	71.98abc	73.79a
CR2	16015.04b	35686.25b	201.00a	272.20b	66.01c	80.08c	73.84a

注: 同列数据后不同字母表示差异达 10% 显著水平。

### 3 讨论

土壤电导率表示土壤浸出液中各种阳离子的量和各种阴离子的量之和, 因此在描述土壤盐分状况时, 土壤电导率可以作为反映土壤总盐量的指标。土壤电导率与土壤溶液可溶性离子的总量成正相关<sup>[14]</sup>。土壤电导率作为一种反映土壤离子的参数, 限制植物生长的阈值, 可以作为土壤生产潜力的评价指标用来评估作物产量, 为精细农业提供变量处方管理依据<sup>[15]</sup>。本研究结果表明, 秸秆深埋条件下, 土壤表层 0—150 cm 土壤电导率总体趋势大于无秸秆处理。常规施氮条件下, 土壤电导率在 0—150 cm 土层高于减量施氮。主要原因在于: 秸秆本身富含氮、磷、钾、钙、镁和有机质等<sup>[16]</sup>, 深埋于土壤可被土壤微生物分解释放微量元素。氮肥施入土壤, 在微生物作用下, 发生硝化作用, 释放硝酸根离子, 增加土壤有效离子含量。结果显示, 在玉米分蘖期, 各处理下土壤电导率无明显区别, 在于初期阶段, 秸秆还未发挥肥力效应。至玉米拔节期、抽穗期、成熟期, 秸秆逐渐被腐解利用, 发挥其肥效作用, 土壤电导率在 0—150 cm 土层各处理下逐渐发生差异。综上表明, 秸秆深埋可提高土壤电导率, 改善土壤化学环境, 为农作物生长提供良好环境。

氮肥的使用大幅度提高粮食产量, 但过量施氮, 造成土壤硝态氮大量累积, 进而容易产生环境污染问题。有研究<sup>[17-18]</sup>表明, 在考虑土壤自身供氮水平的基础上, 适当降低施氮量不仅不会影响作物的产量, 而且可将土壤硝态氮含量的降到一个较低的水平。本试验结果表明, 与常规施氮相比, 在减量施氮 20% 条件下, 土层 0—200 cm 土壤硝态氮含量下降了 25.73%。常规施氮, 秸秆深埋条件下, 土层 0—200 cm 土壤硝态氮含量下降了 6.59%, 减量施氮, 秸秆深埋时, 0—

200 cm 土层土壤硝态氮含量下降 5.97%。主要原因在于秸秆深埋有利于蓄水保墒, 阻止水分向下渗透, 进而对土壤硝态氮淋溶下移起到阻控作用, 使土壤硝态氮累积于作物根层, 供作物充分吸收利用, 从而减少土层硝态氮含量。潘剑玲等<sup>[19]</sup>认为, 矿化的秸秆组分能够促进氮的循环, 减少氮素淋溶, 提高氮素利用率。本研究结果表明, 秸秆深埋提高了氮素利用率, 减少了土层土壤剖面的硝态氮含量, 与赵鹏等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。

秸秆深埋于土壤, 为作物提供了一个良好的生长环境, 有利于作物生长发育, 增产效果显著<sup>[21-22]</sup>。但也有报道<sup>[23-24]</sup>, 不同施氮量下, 秸秆还田对作物产量产生不同的影响, 表现为低施氮量产量降低, 高施氮量产量增加。减产的主要原因表现为: 作物生长前期, 如有新鲜有机物的加入, 使微生物活动加强, 秸秆分解与幼苗争夺养分, 土壤养分过度消耗, 后期氮素供应不足<sup>[25-26]</sup>。本试验结果表明, 常规施氮(250 kg N/hm<sup>2</sup>)条件下, 秸秆深埋籽粒产量增加了 2.7%。减量施氮(200 kg N/hm<sup>2</sup>)条件下, 秸秆深埋籽粒产量增加了 11.24%, 减量施氮条件下, 秸秆深埋增产幅度大于无秸秆处理。试验结果显示, 秸秆深埋促进植株和籽粒吸氮量, 其氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮收获指数大于无秸秆处理, 表明同一施氮条件下, 秸秆深埋可发挥氮肥增产效率。综上, 减量施氮条件下, 采取秸秆深埋是一种有效的作物增产与氮肥管理措施。

### 4 结论

(1) 施肥结合秸秆深埋措施可提高土壤电导率, 改善作物生长环境, 促进作物生长。在玉米分蘖期、拔节期, 土壤电导率在 40—150 cm 土层出现峰值, 玉米抽穗期、成熟期出现在 40—200 cm 土层。在土层深度 0—150 cm, 土壤电导率整体趋势表现为秸秆深埋处理大于

无秸秆处理,常规施氮土壤电导率高于减量施氮。

(2) 减量施氮与秸秆深埋可有效减少土壤硝态氮含量。同一施氮条件下,秸秆深埋可使土壤硝态氮含量均小于无秸秆处理,其中减量施氮结合秸秆深埋处理,土壤硝态氮含量最少,其对土壤硝态氮阻控淋溶效果最好。

(3) 减量施氮及秸秆深埋均可使玉米增产。与常规施氮相比,减量20%施氮产量并没有减产,反而增产。施肥结合秸秆深埋可提高玉米产量,其中减量施氮结合秸秆深埋增产潜力大于常规施氮结合秸秆深埋。秸秆深埋条件下,其籽粒吸氮量、植株吸氮量、氮肥农学效率、氮肥偏生产力和收获指数大于无秸秆处理。

#### 参考文献:

- [1] 徐钰,江丽华,林海涛,等. 不同氮肥运筹对玉米产量、效益及土壤硝态氮含量的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(5): 1196-1199.
- [2] Zhou M, Butterbach-Bahl K. Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems [J]. *Plant & Soil*, 2014, 374 (1/2): 977-991.
- [3] 闫湘,金继运,何萍,等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [4] 薛晓辉,郝明德. 小麦氮磷肥长期配施对土壤硝态氮淋溶的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 918-925.
- [5] Rimskikorsakov H, Rubio G, Lavado R S. Fate of the nitrogen from fertilizers in field-grown maize [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 93(3): 253-263.
- [6] Xu Z, Xie Y X, Xiong Z Q, et al. Nitrogen fate and environmental consequence in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu lake region, China [J]. *Plant & Soil*, 2009, 319 (1/2): 225-234.
- [7] 商放泽,杨培岭,李云开,等. 不同施氮水平对深层包气带土壤氮素淋溶累积的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 103-110.
- [8] Withers P J A, Neal C, Jarvie H P, et al. Agriculture and eutrophication: Where do we go from here? [J]. *Sustainability*, 2014, 6(9): 5853-5875.
- [9] 刘芳,张长生,陈爱武,等. 秸秆还田技术研究及应用进展[J]. 作物杂志, 2012(2): 18-23.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [11] 杨靖民,张忠庆,曹国军. 应用间隔流动分析仪测定土壤硝态氮和亚硝态氮含量[J]. 中国土壤与肥料, 2014(2): 101-105.
- [12] 杨卫中,王一鸣,李保国,等. 基于相位检测原理的TDR土壤电导率测量研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 183-187.
- [13] 石德杨,张海艳,董树亭. 土壤高残留氮条件下施氮对夏玉米氮素平衡、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 37-44.
- [14] 孙启祥,张建锋, Makeschin Franz. 不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 98-101.
- [15] 赵勇,李民赞,张俊宁. 冬小麦土壤电导率与其产量的相关性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊2): 34-37.
- [16] 王珍,冯浩,吴普特,等. 土壤扩蓄增容肥对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 114-119.
- [17] 李良勇,李帆,黄松青,等. 稻草不同还田量和还田方式对烤烟养分吸收及产质的影响[J]. 福建农业学报, 2007, 22(1): 10-14.
- [18] 赵营,同延安,赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006(2): 30-33.
- [19] 潘剑玲,代万安,尚占环,等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535.
- [20] 赵鹏,陈阜. 秸秆还田配施氮肥对夏玉米氮利用及土壤硝态氮的影响[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(1): 14-18.
- [21] 戴志刚,鲁剑巍,李小坤,等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [22] Kasperbauer M J. Cotton seedling shoot and root growth responses to light reflected from straw-covered versus bare soil [J]. *Crop Science*, 1999, 39(1): 164-167.
- [23] 战秀梅,彭靖,李秀龙,等. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 204-209.
- [24] 周怀平,解文艳,关春林,等. 长期秸秆还田对旱地玉米产量、效益及水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 321-330.
- [25] 黄婷苗,郑险峰,侯仰毅,等. 秸秆还田对冬小麦产量和氮、磷、钾吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 853-863.
- [26] 张定一,党建友,王姣爱,等. 施氮量对不同品质类型小麦产量、品质和旗叶光合作用的调节效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 535-542.