

# 秸秆还田下减量施氮对作物产量及 养分吸收利用的影响

李有兵, 李 锦, 李 硕, 田霄鸿

(西北农林科技大学资源环境学院 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 秸秆还田条件下, 采用多年田间定位试验研究了 N 肥减量施用对作物产量、养分吸收利用以及土壤表观 N 平衡的影响, 旨在为关中小麦/玉米一年二熟轮作区合理施用 N 肥提供依据。结果表明: 与常规施 N 处理 (玉米季施氮  $187.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 小麦季施氮  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 相比, 2008—2011 年三年中, 15% 减 N、30% 减 N 两个处理均未显著降低作物籽粒与秸秆产量; 2010—2011 年生长季中, 15% 减 N 处理降低了作物秸秆 N、P、K 周年总吸收量, 增加了籽粒 N、P、K 周年总吸收量, 其中籽粒 P 周年总吸收量增加达显著性水平; 30% 减 N 处理显著降低了籽粒 N 和秸秆 N、K 周年总吸收量, 降幅分别为 12.9%、41.9%、18.5%, 在小麦收获后, 30% 减 N 处理的 N 素盈余量只有  $11.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 有潜在缺 N 危险。综合考虑产量、养分吸收利用及土壤表观 N 平衡, 在秸秆还田条件下, 15% 减 N 处理的施 N 量 (即玉米季施氮  $159 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 小麦季施氮  $127.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 为本地区最佳 N 肥用量。

**关键词:** 秸秆还田; 减量施氮; 产量; 养分含量; 养分吸收量

**中图分类号:** S147.22 **文献标志码:** A

## Effects of reducing nitrogen application on crop yields, nutrients uptake and utilization with straw incorporation

LI You-bing, LI Jin, LI Shuo, TIAN Xiao-hong

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Key Laboratory of

Plant Nutrient and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The long term field experiment on N fertilizer reduction under the conditions of straw incorporation was conducted to identify a suitable N rate and provide the theoretical basis of reasonable fertilization for the farmland in wheat-straw cropping system on Guanzhong Plain. Three treatments, conventional applied N, 15% and 30% reduction applied N, were performed by a randomized complete block design with three replications. The results showed that, in comparison with conventional N application treatment, averaged across three years from 2008 to 2011, N reduction by 15% and 30% did not significantly reduce crop grain and straw yields. During the crop growing seasons from 2010 to 2011, N reduction by 15% reduced straw N, P, K annual uptake and increased grain N, P, K annual uptake, especially for grain P uptake. N reduction by 30% significantly reduced grain N, straw N, K annual total uptake by 12.9%, 41.9%, 18.5% respectively. 30% N reduction treatment had the lowest N surplus after harvesting wheat and maize, the N surplus was only  $11.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  when wheat was harvested, partially associated with a shortage of N. Taking into account into consideration of the yield, nutrients uptake and utilization, apparent soil N balance, the 15% N reduction treatment has an optimum N application rate (wheat season  $127.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , maize season  $159.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) in this region.

**Keywords:** straw incorporation; nitrogen reduction; crop yields; nutrient content; nutrient uptake

收稿日期: 2014-04-18

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B11); 国家自然科学基金项目(41371288, 31071863)

作者简介: 李有兵(1989—), 男, 陕西米脂人, 硕士研究生, 研究方向为农业废弃物资源循环利用。E-mail: li\_youbing@126.com。

通信作者: 田霄鸿(1967—), 男, 甘肃天水人, 教授, 主要从事农业废弃物资源循环利用方面的研究。E-mail: txhong@hotmail.com。

氮素是维持和提高作物产量的最重要营养元素之一<sup>[1-2]</sup>,然而当施 N 量增至一定程度时,产量反而会出现下降趋势<sup>[3]</sup>,N 肥的过量施用不仅使其利用效率和经济效益下降,也会产生水体富营养化、全球变暖等一系列环境问题<sup>[4-7]</sup>。秸秆作为一种来源丰富的可再生有机资源,含有大量的有机碳和矿质营养元素,其中 N、P、K 含量分别约为 0.5%、0.12%、1%<sup>[8]</sup>。目前在粮食生产中都会投入大量氮素,这些氮素在秸秆还田条件下能够调节土壤 C/N 比值,避免后季作物幼苗生长发育与秸秆腐解发生“争氮”现象,有利于作物正常生长和秸秆快速腐解<sup>[9]</sup>,秸秆腐解过程中能形成腐殖质,释放出矿质营养元素,因而能够补充土壤养分,提高土壤肥力,保证土壤的可持续利用<sup>[10-13]</sup>。秸秆还田还能增加土壤团粒结构,降低土壤容重,达到改善土壤物理性质的目的<sup>[14]</sup>。目前粮食生产中有机肥施用量逐渐减少<sup>[15]</sup>,而秸秆还田已经成为代替传统有机肥、补充粮田土壤有机物质和营养元素的最重要途径。以陕西关中传统农业区小麦/玉米一年二熟的轮作体系为例,该地区每年大约产生小麦秸秆 490 万 t,玉米秸秆 310 万 t<sup>[16]</sup>,随着秸秆禁止焚烧政策的推出,该地区秸秆还田量在逐年增加,秸秆还入土壤后,无疑可以补充土壤 N 素,如果还是沿用以前的 N 肥施用量,势必会造成 N 肥浪费和环境污染。因此,研究秸秆还田条件下的 N 肥减量施用具有重要意义。本研究是在秸秆还田条件下减少 N 肥用量,研究其对小麦和玉米产量,养分含量以及养分吸收量的影响,从而确定合理的施 N 量,为农田 N 肥合理施用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

田间试验于 2008 年 10 月—2011 年 10 月在西北农林科技大学三原试验站进行,试验站地处关中平原中部(E:108°52',N:34°36'),海拔 427.4 m,属暖温带大陆性季风半干旱气候区,全年平均温度 13.4℃,年降水量为 517.7 mm 左右,夏秋季降水占年降水量的 60%~70%。种植制度为小麦/玉米一年二熟的轮作体系。供试土壤属于半淋溶土纲中的红油土,质地为壤土,土壤养分含量为:有机质 18.22 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 1.42 g·kg<sup>-1</sup>,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 14 mg·kg<sup>-1</sup>,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 13 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 32 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 183 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

试验共设置 3 个处理,分别为:常规施 N、15%

减量施 N、30% 减量施 N。常规施 N 采用当地农民的平均施 N 量,玉米季和小麦季施 N 总量分别为 187.5 和 150 kg·hm<sup>-2</sup>;15% 减量施 N 及 30% 减量施 N 是在常规施 N 量的基础上分别减少 15% 和 30%。试验中 N、P 肥采用尿素(N 46%)、磷酸氢二铵(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%,N 16%)。田间采用完全随机区组设计,重复 3 次。

### 1.3 栽培管理措施

试验采用的玉米和小麦品种分别为当地广泛种植的“骏单 22”和“小偃 6 号”。试验期间田间基本农艺措施(播种及收获)均实行机械化操作。田间管理措施主要包括灌水、除草 2 项作业。玉米在生育期内灌水 2~3 次;小麦分别在越冬期和拔节期各灌水 1 次,每次灌水量约 50 mm。试验其他管理措施与当地习惯一致。

玉米季播种时基施纯 P 22.5 kg·hm<sup>-2</sup>和 N 67.5 kg·hm<sup>-2</sup>,喇叭口期追施 N 120 kg·hm<sup>-2</sup>;15%、30% 减量施 N 分别比玉米常规基施和追施的 N 肥减量 15% 和 30%。小麦季施纯 P 110 kg·hm<sup>-2</sup>,常规施 N、15% 减量施 N、30% 减量施 N 处理的施 N 量分别为 150、127.5 kg·hm<sup>-2</sup>和 105 kg·hm<sup>-2</sup>,均作底肥一次性施入。

### 1.4 收获及分析样品采集

田间试验从 2008 年 10 月开始,每年的 6 月份及 10 月份分别对小麦及玉米进行机械化收获并计产,收获后作物秸秆随机械化全量还田。于 2011 年 6 月及 2011 年 10 月从测产样品中取小麦及玉米地上部分植株作为分析样品,将其带回实验室烘干磨碎,测定植株 N、P、K 含量。

### 1.5 测定方法及数据分析

植物样品经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化后,凯氏法测定全 N、钼锑抗比色法测定全 P、火焰分光光度法测定全 K<sup>[17]</sup>。

秸秆全量还田条件下,忽略一周年内土壤 N 素的变化,可大致得到土壤表观 N 平衡的计算公式为:

$$N_{\text{盈余}} = N_{\text{收入}} - N_{\text{支出}}$$

式中, $N_{\text{收入}}$ 为投入的化学 N 肥量(kg·hm<sup>-2</sup>); $N_{\text{支出}}$ 为籽粒携出的 N 素量(kg·hm<sup>-2</sup>)。

采用 Excel2007 和 DPS7.05 版软件对试验数据进行统计分析,以 LSD 法进行多重比较,文中数据均为 3 次重复的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆还田下减量施氮对作物产量的影响

从 2008 年 10 月至 2011 年 10 月,已进行了三年

6 季作物的田间试验, 以三年的平均产量分析(表 1), 在常规施 N、15% 减 N、30% 减 N 3 个处理中, 无论小麦、玉米还是周年总产量, 籽粒及秸秆产量均为常规施 N 处理最高, 且随着 N 肥减量幅度的增大呈下降趋势, 30% 减 N 处理籽粒及秸秆产量均为最低。与常规施 N 处理相比, 15% 减量施 N 小麦、玉米以及周年籽粒总产量分别下降了 5.0%、0.2%、

2.4%; 小麦、玉米以及周年秸秆总产量分别下降了 2.7%、2%、2.3%。30% 减量施氮小麦、玉米以及周年籽粒总产量分别下降了 7.5%、7.3%、7.4%; 小麦、玉米以及周年秸秆总产量分别下降了 9%、9.5%、9.2%。方差分析表明, 各项目的不同处理之间差异均不显著, 表明 N 肥减量不会显著降低作物产量。

表 1 2008 年 10 月—2011 年 10 月生长季期间籽粒及秸秆三年平均产量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 1 The three-year average yield of grain and straw during the growing seasons of 2008 to 2011

处理 Treatments	小麦 Wheat		玉米 Maize		周年总产量 Total yield	
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw
常规施 N Conventional N	5611 a	6135 a	6450 a	7103 a	12061 a	13238 a
15% 减量施 N 15% N reduction	5328 a	5967 a	6438 a	6962 a	11766 a	12929 a
30% 减量施 N 30% N reduction	5192 a	5585 a	5978 a	6429 a	11170 a	12014 a

注: 同列数据后标不同小写字母者表示差异达到 5% 显著水平。下表同。

Note: Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different at the 5% level. The same below.

## 2.2 秸秆还田下减量施氮对作物养分含量及吸收量/携出量的影响

### 2.2.1 秸秆还田下减量施氮对籽粒养分含量及吸收量的影响

对小麦和玉米籽粒养分含量分析表明(表 2), 减量施 N 对小麦籽粒 P 含量的影响较大, 而对 N、K 含量的影响不明显。小麦籽粒 P 含量随着 N 肥减量幅度的增大逐渐增加, 且 30% 减 N 处理与另外 2 个处理相比达到显著性差异; 小麦籽粒 N、K 含量在 15% 减 N 处理最高, 30% 减 N 处理最低, 但各处理间差异均不显著。随着 N 肥减量幅度的增加, 玉米籽粒 P、K 含量随之增加; N 含量在 15% 减 N 处理最高, 30% 减 N 处理最低。玉米籽粒 N、P、K 含量在各处理间差异均不显著, 表明减量施 N 不会显

著影响玉米籽粒的营养品质。

对小麦和玉米籽粒养分吸收量的分析表明(表 2), 与常规施 N 处理相比, 15% 减 N 对小麦籽粒 N、K 吸收量影响不大; 而 30% 减 N 显著降低了小麦籽粒 N、K 吸收量, 降幅分别为 13.4%、10.8%; 减量施 N 处理与常规施 N 处理小麦籽粒 P 吸收量间无显著性差异。玉米籽粒 N 吸收量大小顺序为 15% 减 N 处理 > 常规施 N 处理 > 30% 减 N 处理, 减量施 N 对玉米籽粒 N 吸收量的影响不显著, 而 2 个减量施 N 处理间差异达到显著水平。玉米籽粒 P 吸收量的大小顺序与 N 吸收量相同, 但 15% 减 N 显著提高了玉米籽粒 P 吸收量, 提高幅度为 24.3%。减量施 N 处理与常规施 N 处理 K 吸收量间差异不显著。

表 2 2010 年 10 月—2011 年 10 月生长季间作物籽粒中 NPK 含量( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )及吸收量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 2 The N, P, and K content and uptake of crop grain during the growing seasons of 2010 to 2011

作物 Crop	处理 Treatments	N		P		K	
		含量 Content	吸收量 Uptake	含量 Content	吸收量 Uptake	含量 Content	吸收量 Uptake
小麦 Wheat	常规施 N Conventional N	22.0a	108.2a	2.9b	14.1a	4.7a	23.1a
	15% 减量施 N 15% N reduction	22.4a	109.7a	3.0b	14.8a	4.8a	23.4a
	30% 减量施 N 30% N reduction	21.2a	93.7b	3.4a	15.2a	4.7a	20.6b
玉米 Maize	常规施 N Conventional N	11.7a	72.6ab	2.7a	16.9b	2.9a	18.3a
	15% 减量施 N 15% N reduction	12.3a	82.1a	3.1a	21.0a	3.1a	20.8a
	30% 减量施 N 30% N reduction	11.1a	63.9b	3.2a	18.1ab	3.6a	21.0a

### 2.2.2 秸秆还田下减量施氮对秸秆养分含量及携出量的影响

对小麦和玉米秸秆养分含量分析表明(表 3), 随着 N 肥减量幅度的增加, 小麦秸秆 N、K 含

量随之降低, 与常规施 N 处理相比, 30% 减 N 显著降低了小麦秸秆 N 含量, 降幅达到 28.8%; 15% 减 N 显著降低了小麦秸秆 P 含量, 降幅达到 37.5%; 而 K

含量在各处理间差异均不显著。15% 减 N 对玉米秸秆养分含量影响不显著,但 30% 减 N 显著降低了玉米秸秆 N 含量,降低幅度为 33.3%;P 含量随 N 肥减量幅度的增大呈增加趋势,K 含量在 15% 减 N 处理中最高,30% 减 N 处理中最低,玉米秸秆 P、K 含量在各处理间差异均不显著。

对于小麦和玉米秸秆养分携出量分析表明(表 3),与常规施 N 处理相比,随着 N 肥减量幅度的增加,小麦秸秆 N、K 携出量相应降低,15% 减 N 对小

麦秸秆 N、K 携出量的影响较小,而 30% 减 N 显著降低了小麦秸秆 N、K 携出量,降幅分别为 38.3%、17.9%;15% 减 N 还显著降低了小麦秸秆 P 携出量,幅度达到 33.3%。15% 减 N 对玉米秸秆 N、P、K 携出量的影响都较小,而 30% 减 N 显著降低了玉米秸秆 N、K 携出量,分别降低 45.2%、19.4%;常规施 N 处理与减量施 N 处理玉米秸秆 P 携出量间差异不显著。

表 3 2010 年 10 月—2011 年 10 月生长季间作物秸秆中 NPK 含量( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )及携出量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 3 The N, P, and K content and uptake of crop straw during the growing seasons of 2010 to 2011

作物 Crop	处理 Treatments	N		P		K	
		含量 Content	携出量 Uptake	含量 Content	携出量 Uptake	含量 Content	携出量 Uptake
小麦 Wheat	常规施 N Conventional N	5.9a	32.9a	0.8a	4.5a	19.5a	109.2a
	15% 减量施 N 15% N reduction	5.7a	31.8a	0.5b	3.0b	19.0a	106.0a
	30% 减量施 N 30% N reduction	4.2b	20.3b	0.8a	3.6ab	18.7a	89.7b
玉米 Maize	常规施 N Conventional N	5.7a	40.9a	1.0a	7.1a	13.0a	93.5a
	15% 减量施 N 15% N reduction	5.2a	36.6a	1.0a	7.3a	13.2a	92.9a
	30% 减量施 N 30% N reduction	3.8b	22.4b	1.2a	7.1a	12.8a	75.4b

2.2.3 秸秆还田下减量施氮对作物一个轮作周期内养分周年总吸收量/总携出量的影响 对一个轮作周期内作物籽粒和秸秆养分周年总吸收量/携出量的分析表明(表 4),与常规施 N 处理相比,15% 减 N 显著提高了籽粒 P 周年总吸收量,提高幅度为 15.4%;而 30% 减 N 显著降低了籽粒 N 周年总吸收量,降低幅度为 12.9%;常规施 N 处理与减量施 N

处理籽粒 K 周年总吸收量间差异不显著。秸秆 N、K 周年总携出量都是常规施 N 处理 > 15% 减 N 处理 > 30% 减 N 处理,15% 减 N 对秸秆 N、K 周年总携出量的影响都较小,而 30% 减 N 显著降低了秸秆 N、K 周年总携出量,降幅分别为 41.9%、18.5%;秸秆 P 周年总携出量在各处理间差异均不显著。

表 4 2010 年 10 月—2011 年 10 月生长季间作物 NPK 周年总吸收量/总携出量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 4 The total uptake of N, P, and K during the growing seasons of 2010 to 2011

处理 Treatments	籽粒 Grain			秸秆 Straw		
	N	P	K	N	P	K
常规施 N Conventional N	180.9a	31.0b	41.4a	73.7a	11.6a	202.7a
15% 减量施 N 15% N reduction	191.8a	35.8a	44.2a	68.4a	10.3a	198.9a
30% 减量施 N 30% N reduction	157.6b	33.4ab	41.5a	42.8b	10.7a	165.1b

### 2.3 秸秆还田下减量施氮对小麦及玉米收获后土壤表观 N 平衡的影响

对 2010 年 10 月至 2011 年 10 月小麦及玉米收获后土壤的表观 N 平衡的分析表明(表 5),无论小麦还是玉米,N 支出的大小顺序都是 15% 减 N 处理 > 常规施 N 处理 > 30% 减 N 处理;N 盈余量的大小顺序都是常规施 N 处理 > 15% 减 N 处理 > 30% 减 N 处理。籽粒 N 素吸收量在 15% 减 N 处理达到最大,

说明秸秆还田条件下,一定范围内减少 N 肥用量能够促进 N 素吸收利用,提高 N 肥利用率,而进一步减少 N 肥用量,可能会造成 N 素亏缺,影响作物生长。在小麦收获后,30% 减量施 N 处理的 N 盈余量只有  $11.3 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,有潜在缺 N 危险。与玉米生长季相比,小麦籽粒 N 素吸收量较高,N 素盈余量较低,说明小麦季 N 肥利用率较高。

表 5 2010 年 10 月—2011 年 10 月小麦及玉米收获后的土壤表观 N 平衡( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 5 Apparent soil nitrogen balance after harvesting wheat and maize during 2010 to 2011

处理 Treatments	小麦 Wheat			玉米 Maize		
	$N_{\text{收入}} N_{\text{input}}$	$N_{\text{支出}} N_{\text{output}}$	$N_{\text{盈余}} N_{\text{eq}}$	$N_{\text{收入}} N_{\text{input}}$	$N_{\text{支出}} N_{\text{output}}$	$N_{\text{盈余}} N_{\text{eq}}$
常规施 N Conventional N	150.0	108.2	41.8	187.5	72.6	114.9
15% 减量施 N 15% N reduction	127.5	109.7	17.8	159.4	82.1	77.3
30% 减量施 N 30% N reduction	105.0	93.7	11.3	131.5	63.9	67.6

注:  $N_{\text{收入}}$  为投入的化学 N 肥量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ );  $N_{\text{支出}}$  为籽粒携出的 N 素量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ );  $N_{\text{盈余}} = N_{\text{收入}} - N_{\text{支出}}$ 。

Note:  $N_{\text{input}}$  is the input rate of chemical nitrogen fertilizer;  $N_{\text{output}}$  is the grain uptake rate of nitrogen;  $N_{\text{eq}} = N_{\text{input}} - N_{\text{output}}$ .

### 3 讨论

作物的产量是气候、品种、施肥、栽培管理措施等因素综合作用的表现,在其他因素相对一致条件下,施肥是影响作物产量的主要因素<sup>[18]</sup>。在中国北方干旱半干旱地区,土壤养分含量较低,N 肥是作物产量的重要限制因子,施用 N 肥及秸秆还田对作物均有一定增产作用<sup>[19-20]</sup>。本研究在作物秸秆全量还田条件下减少 N 肥用量,3 年的产量结果表明,随着 N 肥施用量的减少,小麦及玉米籽粒和秸秆产量虽然呈下降趋势,但并未达到显著性差异水平,这说明秸秆还田条件下一定范围内减少 N 肥用量并不会显著降低作物产量<sup>[21-22]</sup>。这是由于随着施 N 量的减少,虽然作物可直接吸收利用的 N 素含量在减少,但秸秆还田一方面为土壤带入了 N 素,增加土壤 N 储量,另一方面,也为土壤微生物活动、繁殖提供了充足的物质和能量来源,使得微生物繁殖量增加,被固化的土壤 N 素也随之增加,土壤中可利用 N 素的总量增加<sup>[23]</sup>。单从作物产量结果来看,N 肥施用量在 30% 减量施 N 的基础上还有一定减少空间,但同时作物可直接吸收利用的 N 素减少,减产的风险也在不断增大。

作物籽粒养分含量是表征籽粒营养品质的一项重要指标,对人类健康具有重要意义,秸秆中也含有丰富的养分资源,作物吸收利用的养分近一半留在秸秆中<sup>[24]</sup>。随着施 N 量的增加,籽粒 N 含量呈现先增加后减少的趋势,一定范围内增加 N 肥用量能够提高籽粒蛋白质含量<sup>[25]</sup>,改善籽粒营养品质。在本研究中,小麦和玉米籽粒 N 含量均为 15% 减 N 处理最高,30% 减 N 处理最低,但方差分析表明各处理间差异均不显著,说明在秸秆全量还田条件下一定范围内减少 N 肥用量不会影响作物籽粒对 N 素的正常吸收利用,还一定程度上能提高 N 素利用率<sup>[26]</sup>;与常规施 N 处理相比,30% 减量施 N 显著降低了小麦及玉米秸秆 N 含量,而并未显著降低籽粒 N 含量,这是因为常规施 N 处理 N 肥用量较大,N 素

更多累积在作物茎秆、叶片等非产量器官中,使得作物“奢侈吸收”现象严重,当 N 肥用量减少时,作物会首先保证 N 素向籽粒中转运,从而不会造成籽粒 N 含量显著下降<sup>[27-28]</sup>。小麦和玉米籽粒 N 含量均在 15% 减 N 处理中达到最大值,说明在秸秆还田条件下,15% 减 N 有助于增加作物籽粒蛋白质含量,提高籽粒营养品质<sup>[29]</sup>。有文献表明,在不同施 N 量下,小麦籽粒 N 含量和籽粒产量有明显的正相关关系<sup>[30]</sup>,但本研究中并未发现这一规律。小麦及玉米籽粒 P 含量,随着 N 肥减量幅度的增加呈增加趋势,且小麦季 30% 减 N 处理达到显著性差异水平,这是由于秸秆直接还田后微生物活动繁殖加剧,促进土壤中累积性难溶性磷和磷矿粉的有效化,提高了土壤 P 素的有效含量<sup>[31]</sup>,P 素相对丰富,不会影响作物对 P 素的吸收利用,籽粒产量在减 N 处理相对较低,由于稀释效应,籽粒 P 含量就会较高。作物籽粒及秸秆 K 含量在各处理间均无显著性差异,这是因为小麦和玉米吸收的 K 量有 80% ~ 90% 都累积在秸秆中<sup>[32]</sup>且各处理均未施 K 肥,在秸秆全量还田条件下,带入及携出的 K 量在 3 个处理间大致相同,同时西北地区土壤成土母质中含钾矿物丰富,一般来说土壤 K 含量比较高,不会成为作物生长发育的限制因子。

养分利用率是作物吸收来自所施肥料的养分与施肥总量的比值,秸秆养分携出量是作物吸收利用养分的一部分,在秸秆全量还田条件下,这部分养分最终都归还入土壤中。因此,籽粒养分吸收量能够间接地表征养分利用效率。在本研究中,与常规施 N 处理相比,30% 减 N 显著降低了作物籽粒和秸秆吸收量,降幅分别为 12.9%、41.9%,这是因为在长期定位试验中,30% 减 N 处理 N 肥施用量较少,容易引起土壤供 N 不足,影响作物对 N 素的吸收利用,从而造成 N 素吸收量显著降低<sup>[33]</sup>。小麦和玉米秸秆 K 吸收量分别显著降低了 17.9%、19.4%,这是因为与常规施 N 处理相比,30% 减 N 处理秸秆产量及 K 含量都较低,综合二者,30% 减 N 处理秸秆 K

吸收量显著降低。籽粒 N 周年总吸收量在 15% 减 N 处理达到最大,是由于当 N 肥用量增加到一定程度时会使作物受到病虫害危害,影响作物生长,因此 N 素总吸收量相应也下降。籽粒 P、K 周年总吸收量也在 15% 减 N 处理达到最大,是因为 N 素吸收量增加,使植株生物量增加,结果相应使根系发育健壮,会增加对其它营养元素的吸收<sup>[34]</sup>。

土壤表观 N 平衡的计算是评价养分亏缺状况以及粮田土壤生产力的重要方法<sup>[35-36]</sup>。秸秆全量还田条件下,根据每季 N 肥的投入量及作物籽粒当季的 N 素携出量,可大致计算出 N 素的投入携出盈余量,在小麦季和玉米季,N 素盈余量均在 30% 减 N 处理最低,尤其在小麦季,N 素盈余量仅为 11.3 kg·hm<sup>-2</sup>,考虑到作物对 N 肥的利用率只有 40% 左右,并且 N 肥损失途径较多<sup>[37]</sup>,从长期来看小麦季 30% 减量施 N 会造成土壤 N 素的亏缺。N 肥在玉米季的利用率低于小麦季,是由于玉米生长季高温多雨的气候条件,使 N 素在玉米生长期间养分损失较多<sup>[15]</sup>。

## 4 结 论

在秸秆还田条件下,15% 减量施 N 对作物养分含量和吸收量影响相对较小。30% 减量施 N 会显著降低小麦和玉米秸秆 N 含量,N、K 携出量,籽粒 N 和秸秆 N、K 周年总吸收量。长期来看,30% 减量施 N 处理有造成土壤 N 素亏缺的风险。综合考虑,15% 减量施 N 处理的 N 肥用量(即玉米季施氮 159 kg·hm<sup>-2</sup>,小麦季施氮 127.5 kg·hm<sup>-2</sup>)为本地区小麦/玉米轮作体系下最佳 N 肥用量。

## 参 考 文 献:

- [1] Qiu S J, Peng P Q, Li L, et al. Effects of applied urea and straw on various nitrogen fractions in two Chinese paddy soils with differing clay mineralogy[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012,48(2):161-172.
- [2] Belay A, Claassens A S, Wehner F C. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002,35(6):420-427.
- [3] 杨宪龙,路永莉,同延安,等.长期施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作体系土壤氮素平衡的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013,19(1):65-73.
- [4] 朱兆良,文启孝.中国土壤氮素[M].南京:江苏科学技术出版社,1992:94-96.
- [5] McIsaac G F, David M B, Gertner G Z, et al. Eutrophication: nitrate flux in the Mississippi River[J]. *Nature*, 2001,414(6860):166-167.
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010,327(5968):1008-1010.
- [7] Wang Y C, Wang E L, Wang D L, et al. Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilisation in North China Plain[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010,86(1):105-119.
- [8] 陈银建,周冀衡,李强,等.秸秆腐解剂对不同作物秸秆腐解特征研究[J]. *湖南农业科学*, 2011, (1):19-21, 25.
- [9] 刘世平,陈文林,聂新涛,等.麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1049-1053.
- [10] Zhang H J, Gan Y T, Huang G B, et al. Postharvest residual soil nutrients and yield of spring wheat under water deficit in arid north-west China[J]. *Agricultural Water Management*, 2009,96(6):1045-1051.
- [11] Wang J Y, Zhang X L, Xiong Z Q, et al. Methane emissions from a rice agroecosystem in South China: Effects of water regime, straw incorporation and nitrogen fertilizer[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012,93(1):103-112.
- [12] 南雄雄,游东海,田霄鸿,等.关中平原农田作物秸秆还田对土壤有机碳和作物产量的影响[J]. *华北农学报*, 2011, 26(5): 222-229.
- [13] Wang J, Wang D J, Zhang G, et al. Effect of wheat straw application on ammonia volatilization from urea applied to a paddy field[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012,94(1):73-84.
- [14] 张亚丽,吕家珑,金继运,等.施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(2): 307-314.
- [15] Wang X B, Hoogmoed W B, Cai D X, et al. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: II nutrient balances and soil fertility[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2007, 79(1):17-34.
- [16] 王旭东,陈鲜妮,王彩霞,等.农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. *农业工程学报*, 2009,25(10):252-257.
- [17] 鲍士旦.土壤化学分析[M].第三版.北京:中国农业出版社, 2005:263-270.
- [18] 王宏庭,金继运,王斌,等.山西褐土长期施钾和秸秆还田对冬小麦产量和钾素平衡的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010,16(4):801-808.
- [19] Yang S M, Malhi S S, Song J R, et al. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of North-western China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 76(1):81-94.
- [20] Amusan A O, Adetunji M T, Azeez J O, et al. Effect of the integrated use of legume residue, poultry manure and inorganic fertilizers on maize yield, nutrient uptake and soil properties[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011,90(3):321-330.
- [21] 张静,温晓霞,廖允成,等.不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 612-619.
- [22] 赵士诚,裴雪霞,何萍,等.氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2):492-497.

## 参考文献:

- [1] 樊自立, 乔木, 李和平. 新疆绿洲盐渍化耕地的水盐动态类型及改良分区[C]//中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 北京: 中国土壤学会, 2008.
- [2] 文振旺. 新疆土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
- [3] 郑九华. 咸水灌溉[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 白 瑛, 张祖锡. 灌溉水污染及其效应[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.
- [5] 陈邦本. 江苏滨海地区回归水灌溉对土壤碱化可能性的探讨[J]. 土壤通报, 1987, 18(5): 193-195.
- [6] 崔金荣, 刘 辉. 不同矿化度咸水造墒对棉花、玉米出苗的影响[J]. 农田水利与小水电, 1994, (11): 11-13.
- [7] 鲁纯养, 凌礼章, 孙建华, 等. 咸水灌溉对小麦产量及籽粒品质的影响[J]. 农田水利与小水电, 1986, (12): 3-7.
- [8] 毛建华. 碱性水和咸水灌溉对土壤的影响及其改造与利用研究[J]. 土壤通报, 1984, 21, (1): 79-86.
- [9] 乔玉辉. 微咸水灌溉对盐渍化地区冬小麦生长影响与土壤环境效应[J]. 土壤肥料, 1999, (4): 11-14.
- [10] 肖振华. 灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(3): 272-285.
- [11] 张展羽. 微咸水灌溉对苗期玉米生长和生理性状的影响[J]. 灌溉排水, 1999, 18(1): 18-22.
- [12] 杨树青, 史海滨, 杨金忠, 等. 干旱区微咸水灌溉对地下水环境影响的研究[J]. 水利学报, 2007, (5): 565-574.
- [13] 张俊鹏, 孙景生, 张寄阳, 等. 棉花微咸水灌溉技术研究现状与展望[J]. 节水灌溉, 2010, (10): 56-63.
- [14] 杨建国, 樊丽琴, 邵日坤, 等. 微咸水灌溉对土壤盐分和春玉米生长发育的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, (6): 813-817.
- [15] Ahmed O, Inoue M, Moritani S. Effect of saline water irrigation and manure plication on the available water content, soil salinity, and growth of wheat[J]. Agricultural Water Management, 2011, 97(1): 165-170.
- [16] Li F, Yan Hong, Pang Changle, et al. Soil hydraulic conductivity affected by slight saline water irrigation in North China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(2): 73-80.
- [17] 王全九, 毕远杰, 吴忠东. 微咸水灌溉技术与土壤水盐调控方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, (5): 559-564.
- [18] 杨丽丽, 董肖杰, 郑 伟. 土壤改良剂的研究利用现状[J]. 河北林业科技, 2012, 4(2): 28-32.
- [19] 李新平, 刘 刚, 吕家珑, 等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 79-82.
- [20] 高玉山, 朱知运, 等. 石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(6): 26-31.
- [21] 史瑞和, 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [22] 李维江, 董合忠. 以色列盐水资源及研究现状[J]. 作物杂志, 1998, (3): 14-16.
- [23] 张 伟, 吕 新, 李鲁华, 等. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2008, (8): 15-19.
- [24] 马富裕, 周治国, 郑 重, 等. 新疆棉花膜下滴灌技术的发展与完善[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 202-208.
- [25] 阮明艳. 咸水膜下滴灌对棉花产量效应及土壤水盐环境的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [26] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Amelioration physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review[J]. Biol Fertil Soils, 2002, 35: 219-230.
- [23] 王振忠, 董百舒, 吴敬民. 太湖稻麦地区秸秆还田增产及培肥效果[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(2): 269-271, 274.
- [24] 高利伟, 马 林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [25] 姜 涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 559-565.
- [26] 邹晓锦, 张 鑫, 安景文. 氮肥减量后移对玉米产量和氮素吸收利用及农田氮素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, (6): 25-29.
- [27] 刘立军, 徐 伟, 唐 成, 等. 土壤背景氮供应对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(4): 343-349.
- [28] 李久生, 李 蓓, 宿梅双. 冬小麦氮素吸收及产量对喷灌施肥均匀性的响应[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1600-1607.
- [29] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
- [30] Singh Y, Gupta R K, Singh G, et al. Nitrogen and residue management effects on agronomic productivity and nitrogen use efficiency in rice – wheat system in Indian Punjab[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(2): 141-154.
- [31] 徐凤花, 刘永春, 王伟东, 等. 秸秆还田的增磷作用及对植株全磷含量干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1997, 9(3): 1-5.
- [32] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, 等. 冬小麦 – 夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 152-156.
- [33] 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 减量施氮对冬小麦 – 夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 458-462.
- [34] 赵炳梓, 徐富安. 水肥条件对小麦、玉米 N、P、K 吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 260-266.
- [35] Pathak H, Mohanty S, Jain N, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium budgets in Indian agriculture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(3): 287-299.
- [36] Gallejones P, Castellón A, Del Prado A, et al. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 93(3): 337-355.
- [37] Pardo G, Cavero J, Aibar J, et al. Nutrient evolution in soil and cereal yield under different fertilization type in dryland[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(3): 267-279.

(上接第 84 页)