植物营养与肥料学报 2012,18(1):35-41
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同肥力土壤下施氮与玉米秸秆还田对冬小麦氮素吸收利用的影响

单鹤翔,卢昌艾*,张金涛,王金洲,徐明岗
(农业部作物营养与施肥重点开放实验室,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081)

摘要:为了解华北潮土区不同土壤肥力水平下施氮与玉米秸秆还田对冬小麦氮素吸收利用的影响,采用^{15}N标记氮肥和^{15}N标记玉米秸秆的双标记方法,在两种肥力水平土壤上进行盆栽试验,研究了玉米秸秆全量直接还田对冬小麦地上部氮素累积量、氮素分配和氮肥回收率的影响。结果表明,1)等氮肥用量条件下,与不配施玉米秸秆相比,施用玉米秸秆则显著降低了冬小麦地上部氮素累积量;高肥力土壤上的冬小麦子粒氮素累积量高于低肥力土壤,冬小麦秸秆氮素累积量则以低肥力土壤为高;氮肥配施玉米秸秆使得氮肥回收率下降9.6%~15.7%,土壤残留率增加12.2%~16.4%。2)氮肥用量为N 150和300 kg/hm^{2}时,玉米秸秆氮素的当季回收率达到22.8%~33.1%,冬小麦子粒氮素约7%~10%来源于还田的玉米秸秆。3)等氮肥用量和相同土壤肥力条件下,氮肥配施玉米秸秆对冬小麦子粒产量影响不显著,在氮肥用量为N 150和300 kg/hm^{2}条件下,影响冬小麦子粒产量的主要是土壤肥力水平,该试验结果还有待于田间进一步验证。

关键词:玉米秸秆还田;冬小麦;氮素累积量;氮素分配;氮肥回收率
中图分类号:S512.1$^+$1.06　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2012)01-0035-07

Effect of maize straw applied with N fertilizer on nitrogen adsorption of winter wheat under different soil fertility

SHAN He-xiang, LU Chang-ai*, ZHANG Jin-tao, WANG Jin-zhou, XU Ming-gang
(*Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: By adopting the doubly-labeled method of ^{15}N-labeled urea and ^{15}N-labeled maize straw, pot experiments were carried out to study the effect of maize straw direct return on winter wheat's N accumulation, nitrogen distribution and nitrogen fertilizer recovery in 2 soils with different fertility. These results indicate that under the condition of same N fertilizer application amount, the nitrogen accumulation of winter wheat is decreased with the return of maize straw compared with non maize straw return, while the nitrogen harvest index is increased with the return of maize straw since nitrogen accumulation is decreased more significantly in winter wheat's stalk than that in its kernel. The nitrogen content of winter wheat seed cultivated in the high fertility soil is higher than that in the low fertility soil, while the nitrogen content of winter wheat straw cultivated in the high fertility soil is lower than that in the low fertility soil. The nitrogen recovery rates are declined by 9.6%-15.7% and nitrogen residual rates are increased by 12.2%-16.4% under the nitrogen fertilization applied with maize straw return. About 22.8%-33.1% nitrogen accumulation of winter wheat and 7%-10% nitrogen accumulation of winter wheat seed are from the returned maize straw when the N-fertilizer application rates are N 150 and 300 kg/ha. Under the condition of the same N fertilizer application rate and the same soil fertility, the impact of N fertilizer applied with maize straw on the seed yield of winter wheat is not significant, and the effect of soil fertility on the use efficiency of maize straw

收稿日期:2011-06-30　　**接受日期**:2011-09-15
基金项目:国家重点基础研究发展计划资助课题(2011CB100501,2007CB109308)资助。
作者简介:单鹤翔(1986—),男,河北廊坊人,硕士研究生,主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail:crame_flying@163.com
*通讯作者 Tel:010-82108703,E-mail:calu@caas.ac.cn

nitrogen is larger than that of the nitrogen fertilizer. This result should be proved by further field experiment.

Key words: maize straw return; winter wheat; nitrogen accumulation; nitrogen distribution; recovery of nitrogen fertilizer

华北平原地区作为我国主要产粮区,玉米秸秆直接还田将成为华北平原地区玉米秸秆处理的主要方式,也是提升农田土壤基础肥力的重要措施[1]。秸秆直接还田可以增加土壤有机碳含量、改善土壤结构、提高土壤养分含量等,但是秸秆碳氮比值较高,短期分解过程中会影响到土壤氮素和肥料氮素的作物有效性,并进一步影响作物前期生长[2-5]。赵俊晔等[6]采用田间^{15}N示踪技术研究表明,高产土壤条件下随施氮量增加,氮素在子粒中的分配比例降低,在茎和叶的分配量及比例显著增加。王月福等[7]利用土柱试验和^{15}N示踪技术,研究表明氮肥施用在低肥力土壤上氮肥的增产效果较高肥力土壤高;小麦对基施和追施氮肥的吸收利用效率均表现为高肥力土壤高于低肥力土壤,而土壤残留率和损失率则为低肥力土壤高于高肥力土壤。李贵桐等[8]利用原状土柱田间培养法,研究了翻埋玉米秸秆导致小麦季土壤表层无机氮数量增加,引发土壤氮矿化的正激发效应;表层覆盖小麦秸秆对玉米季土壤表层无机氮的影响不明显。王旭东[4]采用砂滤管法在陕西关中高、中、低三种肥力垆土上进行了玉米秸秆腐解试验,结果表明玉米秸秆在中等肥力田块上矿化率最高,低肥力田块上的最低。林琪等[9]在高、低两种肥力土壤下的研究表明,不同氮肥用量对小麦子粒产量影响效果不一致。由此可见,前人关于不同土壤肥力条件下氮肥施用对小麦产量及氮肥利用效率的研究,以及玉米秸秆直接还田的产量效应与秸秆分解过程的研究较多,但是不同土壤肥力水平下氮肥配施玉米秸秆对冬小麦产量及氮素吸收利用影响的研究工作较少。本文以玉米秸秆和^{15}N标记氮肥进行盆栽试验,研究两种土壤肥力条件下不同用量氮肥配施玉米秸秆对冬小麦氮素吸收利用相互作用的模拟研究,为华北平原小麦-玉米轮作区玉米秸秆还田条件下的氮素优化管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自河北省宁晋县四芝兰镇段家庄行政村的高肥力潮土(S_H,种植管理水平较高、多年连续高产的土壤)和韩家庄行政村的低肥力潮土(S_L,种植管理水平低、多年连续低产的土壤)[4,7,9]。供试土壤基本农化性质如表1所示。供试作物为冬小麦,品种为衡观-35。

表1 供试土壤的基本农化性质

Table 1 Basic agrochemical characteristics of tested soils

土壤 Soils	有机碳 SOC (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Alk-hydr. N (mg/kg)	速效磷 Olsen-P (mg/kg)	速效钾 Avial. K (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	pH value
S_H	9.58	0.951	92.0	31.6	85.0	0.661	17.1	7.2
S_L	7.12	0.782	72.4	27.5	72.0	0.815	17.2	7.6

注(Note):S_H—高肥力土壤 High fertility soil; S_L—低肥力土壤 Low fertility soil; SOC—Soil organic carbon.

1.2 试验设计与实施

试验于中国农业科学院网室内进行。试验土壤分高肥力土壤(S_H)和低肥力土壤(S_L)两种,各设6个处理,分别为:1)不施氮肥处理(CK),2)玉米秸秆还田处理(S),3)中量氮肥(N1),4)高量氮肥(N2),5)玉米秸秆还田+中量氮肥处理(N1+S),6)玉米秸秆还田+高量氮肥处理(N2+S)。每个处理设12个重复。盆栽试验的施肥量和秸秆还田量参考华北平原冬小麦季氮、磷、钾肥施用量,设计中量施氮水平为150 kg/hm^2(N1),高量施氮水平为300 kg/hm^2(N2),磷、钾肥用量分别为P_2O_5 150 kg/hm^{2}和K_2O 90 kg/hm^2;玉米秸秆用量为9000 kg/hm^2(相当于玉米秸秆全量还田量)。玉米秸秆养分含量:有机碳435 g/kg,全氮5.83 g/kg,全磷0.71 g/kg,全钾12.1 g/kg。供试氮肥为尿素,磷钾肥为磷酸二氢钾。

称取5 kg过2mm筛的风干土,按试验处理分别加入有机物料和肥料,充分混匀后装入盆中,加水

后平衡 2 d，于 2008 年 10 月 20 日播种冬小麦，出苗后间苗至 6 株/盆，在表层土壤干裂时以称重法补充水分，使其含水量维持在 25% 左右（相当于土壤的田间持水量）。玉米秸秆、磷钾肥作为基肥一次性施入；氮肥按基追比 1∶1 施用，于返青拔节期追施氮肥。供试氮肥为 ^{15}N 尿素（^{15}N 同位素丰度 10.08%），购自上海化工研究院；供试玉米秸秆为田间 ^{15}N 尿素标记的玉米秸秆。

1.3　测定项目及方法

分别在种植前、冬小麦返青期（2009 年 3 月 16 日，播种后 145 d）、拔节前期（2009 年 4 月 10 日，播种后 170 d）、拔节后期（2009 年 4 月 22 日，播种后 180 d）、抽穗期（2009 年 5 月 2 日，播种后 190 d）、灌浆期（2009 年 5 月 12 日，播种后 200 d）和成熟期（2009 年 5 月 28 日，播种后 216 d）采取土壤和植株样品。每个时期 2 个重复，植株与土壤采用破坏性取样。自上而下采集盆子里的土壤样品，混合均匀，风干磨碎，过 0.25 mm 筛备用；植株采集地上部分后（成熟期冬小麦子粒与秸秆分开取样），立即进行 105℃杀青 10 min，之后 65℃烘干至恒重，称重计算不同生育期每盆冬小麦子粒及秸秆重量，粉碎，过 0.25 mm 筛备用。

土壤及植株样品全氮和 ^{15}N 丰度的测定：参照文献[10]的方法测定土壤及植株样品全氮含量；土壤及植株样品进行消煮后，所得测定液用 1 滴 1 mol/L 的硫酸进行酸化，然后将测定液在 80℃水浴蒸干至 1～2 mL，转移至 Y 形瓶中，用改进型 ZHT-03 质谱计进行 ^{15}N 丰度的分析测定[11-12]。

1.4　数据分析与计算方法

利用 ^{15}N 标记肥料（尿素）配施非标记玉米秸秆试验，计算出土壤、植株氮素来源于肥料的百分比；利用非标记肥料（尿素）配施 ^{15}N 标记玉米秸秆，计算出土壤、植株氮素来源于玉米秸秆的百分比[12]。其中相关计算公式如下：

土壤全氮% Ndff =（施 ^{15}N 肥料土壤中全氮的 ^{15}N 原子百分超/肥料的 ^{15}N 原子百超）×100；

土壤全氮来自 ^{15}N 尿素含量 Ndff = 土壤全氮含量 × 土壤全氮% Ndff；

肥料氮素回收率（%）=（小麦地上部 Ndff/施氮量）×100；

玉米秸秆氮素回收率（%）=（小麦地上部 Ndff/施用玉米秸秆全氮量）×100。

氮素收获指数 = 冬小麦子粒氮素累积量/植株总氮累积量

不同处理间参数的差异显著性通过 SPSS13.0 软件中的 three - way variance（ANOVA）进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　氮肥用量和玉米秸秆还田对冬小麦产量、成熟期地上部氮素累积的影响

由表 2 知，除不施氮肥处理外，等施氮量条件下，玉米秸秆还田处理较不还田处理冬小麦子粒氮素累积量降低了 -3%～11%，冬小麦秸秆氮素累积量下降了 49%～58%。说明相比较冬小麦秸秆氮素累积量而言，玉米秸秆还田处理对冬小麦子粒氮素累积量影响较小或没有影响。如果以冬小麦氮素收获指数来表示作物氮素分配状况，等氮肥用量条件下玉米秸秆还田处理提高了氮素在子粒中的分配（表 2）。低肥力土壤上，N1 + S 处理的冬小麦秸秆氮素累积量较秸秆不还田的 N1 处理下降了 107.6 mg/pot，冬小麦子粒氮素累积量下降了 22 mg/pot，冬小麦氮素收获指数则上升了 16.5%；N2 + S 处理的冬小麦氮素收获指数较 N2 处理上升了 18.6%；高肥力土壤也出现类似的规律，即玉米秸秆还田提高了氮素收获指数。

无论是高肥力土壤还是低肥力土壤，相同施氮量条件下，玉米秸秆还田降低了冬小麦的地上部氮素累积量；随着氮肥用量的增加，冬小麦地上部氮素累积量也增加。随着氮肥用量增加，玉米秸秆还田对成熟期冬小麦地上部氮素累积量的影响程度变小，且对低肥力土壤的影响程度要大于高肥力土壤。与秸秆不还田处理相比，在低肥力土壤上，氮肥用量为 N 0、150 和 300 kg/hm^2 时，玉米秸秆还田导致成熟期的冬小麦地上部氮素累积量下降了 66%、33% 和 36%；在高肥力上，冬小麦地上部氮素累积量分别下降了 66%、28% 和 11%。等氮肥用量条件下高肥力土壤的冬小麦子粒氮素累积量均高于低肥力土壤，冬小麦秸秆氮素累积量则以低肥力土壤为高。N1 施肥水平下，低肥力土壤的冬小麦秸秆和子粒氮素累积量分别为 194.4 和 203.9 mg/pot，高肥力土壤则分别为 142.8 和 239.9 mg/pot；玉米秸秆还田后，N1 施肥条件下的低肥力土壤冬小麦秸秆和子粒氮素累积量降低至 86.8 和 181.9 mg/pot，高肥力土壤则分别为 60.6 和 214.4 mg/pot，说明低肥力土壤施用氮肥后，成熟期冬小麦氮素在冬小麦秸秆中累积较多，高肥力土壤氮素向冬小麦子粒转移较多；玉米秸秆还田后，在低肥力土壤和高肥力土壤上均表

表2 氮肥用量和玉米秸秆还田对冬小麦产量、成熟期地上部氮素累积的影响

Table 2 Effects of N application rates and maize straw return on yield and nitrogen accumulation of shoot of winter wheat at mature stage

处理 Treatments		子粒产量 Grain yield (g/pot)	秸秆氮素累积量 N accumulation in straw (mg/pot)	子粒氮素累积量 N accumulation in grain (mg/pot)	地上部氮素累积量 N accumulation of shoot (mg/pot)	氮素收获指数 N harvest idex
S_L	CK	3.2 c	18.1 e	54.8 e	72.9 d	0.75
	S	0.8 d	8.0 e	16.6 f	24.6 e	0.67
	N1	6.6 b	194.4 b	203.9 c	398.3 b	0.51
	N1 + S	6.2 b	86.8 d	181.9 d	268.7 c	0.68
	N2	7.8 a	359.3 a	238.3 a	597.6 a	0.40
	N2 + S	7.7 a	159.0 c	224.3 b	383.4 b	0.59
S_H	CK	4.5 c	22.9 d	83.1 d	106.0 e	0.78
	S	1.2 d	11.2 e	24.7 e	36.0 f	0.69
	N1	9.3 b	142.8 b	239.9 b	382.7 c	0.63
	N1 + S	9.0 b	60.6 c	214.4 c	274.9 d	0.78
	N2	11.8 a	283.4 a	328.6 a	612.0 a	0.54
	N2 + S	11.0 a	144.7 b	338.9 a	483.6 b	0.70

注(Notes): S_H—高肥力土壤 High fertility soil; S_L—低肥力土壤 Low fertility soil. 同列数据后不同字母表示同一土壤肥力条件下处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within the same column are significantly different between treatments at the same soil fertility level at $P<0.05$ level.

现出抑制了冬小麦奢侈吸氮,降低氮素在冬小麦中的累积和分配,促进氮素向冬小麦子粒转移。施氮量在N2水平时,玉米秸秆还田也抑制了氮素在冬小麦秸秆中的累积。

2.2 不同氮肥用量和玉米秸秆还田对肥料氮素去向的影响

等氮肥用量条件下,玉米秸秆还田降低了氮肥的作物回收率,增加了氮肥的土壤残留率。低肥力土壤,N1 + S处理较N1处理氮肥作物回收率下降15.7个百分点,残留率增加15.3个百分点;N2 + S处理较N2处理氮肥作物回收率下降12.4个百分点,残留率增加12.2个百分点(表3)。等氮肥用量条件下,玉米秸秆还田对高肥力土壤氮肥作物回收率和土壤残留率的影响呈现类似规律。

2.3 玉米秸秆还田对冬小麦氮素来源的影响

高氮肥用量(N2)条件下,两种土壤冬小麦子粒氮素来源于氮肥的比例达到了75.3%~77.1%,来源于土壤仅为22.9%~24.7%;添加玉米秸秆处理时,高肥力土壤冬小麦子粒氮素来源于氮肥的比例升高了3.6%,但是低肥力土壤冬小麦子粒氮素来

表3 不同氮肥用量和玉米秸秆还田对肥料氮素去向的影响

Table 3 Effects of N application rates and maize straw return on the fate of N fertilizer

处理 Treatment		氮回收率 REN (%)	氮肥在土壤中残留率(%) RRNS	氮损失率 N loss rate (%)
S_L	N1	41.0 a	16.9 c	42.1 b
	N1 + S	24.3 c	32.2 a	43.5 b
	N2	34.6 b	14.7 c	50.7 a
	N2 + S	22.2 c	26.9 b	50.9 a
S_H	N1	35.8 a	21.9 b	42.3 ab
	N1 + S	24.1 b	37.9 a	38.0 b
	N2	35.2 a	18.0 b	46.8 a
	N2 + S	25.6 b	34.4 a	40.0 b

注(Notes): S_H—高肥力土壤 High fertility soil; S_L—低肥力土壤 Low fertility soil. REN—Recovery efficiency of N fertilizer; RRNS—Residual rate of N fertilizer in soil. 同列数据后不同字母表示同一土壤肥力条件下处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within the same column are significantly different between treatments at the same soil fertility level at $P<0.05$ level.

源于氮肥的比例降低了 6.3%。低氮肥用量(N1)条件下,两种土壤冬小麦子粒氮素来源于氮肥的比例较 N2 用量水平均有所降低,来源于土壤的比例较 N2 用量水平有所升高,尤其是高肥力土壤 N1 用量水平下冬小麦子粒氮素来源土壤的比例较 N2 用量水平高出 14 个百分点,添加玉米秸秆条件下也高出 10 个百分点(表 4)。这与前人的研究结果相同[13-14],王淑平[15]研究发现,加入玉米秸秆促进了氮素向子粒转移。

影响秸秆氮素当季回收率的主要是土壤肥力(氮素)水平,低肥力土壤冬小麦子粒氮素源于还田玉米秸秆的为 7.6%～7.9%,而高肥力土壤的为 10.0%～10.5%,说明土壤肥力(氮素)水平较氮肥用量更能影响玉米秸秆氮素的当季回收率。部分玉米秸秆氮素在还田当季就能被冬小麦吸收利用,玉米秸秆氮素的当季回收率达到 22.8%～33.1%;高氮肥配施玉米秸秆处理的玉米秸秆氮素平均当季回收率较低氮肥配施玉米秸秆处理的高出约 6.1 个百分点(1.9～10.3 个百分点)。

表 4　不同施氮量与玉米秸秆还田对冬小麦子粒氮素来源及玉米秸秆氮素回收率的影响

Table 4　Effects of N application rates and maize straw return on nitrogen source and use efficiency of maize straw nitrogen

处理 Treatment		源于氮肥比例 From N fertilizer (%)	源于土壤比例 From soil (%)	源于玉米秸秆比例 From maize straw (%)	玉米秸秆氮素的当季回收率 Use efficiency of maize straw nitrogen (%)
S_L	N1	63.1 b	36.9 a		
	N1 + S	59.9 b	32.2 a	7.9 b	27.1 ab
	N2	77.1 a	22.9 b		
	N2 + S	70.8 ab	21.6 b	7.6 b	29.0 a
S_H	N1	69.5 ab	30.5 ab		
	N1 + S	62.2 b	28.3 a	10.0 a	22.8 b
	N2	75.3 a	24.7 b		
	N2 + S	78.9 a	10.5 c	10.5 a	33.1 a

注(Note): 玉米秸秆氮素的当季回收率 = 收获期每盆冬小麦子粒和秸秆吸收的源于玉米秸秆的氮量/每盆同位素标记秸秆全氮含量 × 100%　Use efficiency of nitrogen in maize straw = Nitrogen adsorption of winter wheat seed and straw sourced from maize straw in harvest season/Total nitrogen amount of ^{15}N labeled maize straw × 100%; S_H—高肥力土壤 High fertility soil; S_L—低肥力土壤 Low fertility soil. 同列数据后不同字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within the same column are significantly different between treatments at $P < 0.05$ level.

3　讨论

玉米秸秆还田改变了氮肥在冬小麦子粒与秸秆中的分配比例。从成熟期冬小麦秸秆和子粒的氮素分配来看,等氮肥用量时低肥力土壤较高肥力土壤的冬小麦秸秆较子粒容易积累更多氮素;等土壤肥力条件时,氮肥用量越高的处理其冬小麦秸秆较子粒也更容易积累更多氮素,易于发生奢侈吸氮现象[16],这在一定程度上也降低了氮肥农学效率。

等氮肥用量条件下,除高肥力土壤高氮肥用量(N2 + S)外,高肥力土壤中量氮肥配施玉米秸秆以及低肥力土壤氮肥配施玉米秸秆,均显著降低了氮肥的当季回收率($P < 0.05$);氮肥配施玉米秸秆还田增加了氮肥的土壤残留率(表 3)。这主要是由于玉米秸秆本身含有大量碳源,玉米秸秆分解过程中刺激微生物生长,促进了微生物对土壤氮素的固定[17-19],同时玉米秸秆还田可促进氮素向有机氮的转化[2-3,20],减少氮素气态损失[16]。王小彬等[21]采用^{15}N 同位素示踪的方法研究表明,玉米秸秆还田可提高氮肥回收率约 11%,这与本试验研究结果不尽相同,其主要原因可能是秸秆还田方式及还田量不同所致。本试验玉米收获后秸秆立即直接还田,还田量达到了 9000 kg/hm^2;而在王小彬等[21]的试验中,玉米秸秆秋季还田,次年夏季再次种植玉米,次年种植时玉米秸秆可能已矿化了一段时间,减少了玉米秸秆矿化对肥料氮素的固定,而且其玉米秸秆还田量仅为 6000 kg/hm^2。

尽管玉米秸秆直接还田,改变了氮肥在冬小麦

子粒与秸秆中的分配比例,且降低氮肥的当季回收率,但是无论是高肥力土壤还是低肥力土壤条件下,氮肥(N1 和 N2 用量)配施玉米秸秆(全量直接还田约 9000 kg/hm^2),冬小麦的子粒产量均有所降低,但差异并不显著,主要原因是玉米秸秆分解提供了冬小麦生长所需的部分氮素,该结果与王旭东等人的研究结果类似[4]。无论是中量施氮水平(N1)还是高量施氮水平(N2),影响冬小麦子粒产量的主要是土壤肥力水平,低肥力土壤施用高量氮肥的冬小麦子粒产量也没有高肥力土壤施用中量氮肥高(表2)。因此在中量(N1)和高量(N2)氮肥用量条件下,影响冬小麦产量的主要是土壤的肥力水平,玉米秸秆是否全量直接还田,对冬小麦的子粒产量影响不显著。该试验结果是盆栽模拟研究的结果,还有待于田间进一步验证。

4 结论

1)等氮肥用量条件下,与不配施玉米秸秆相比,施用玉米秸秆则显著降低了冬小麦地上部氮素累积量;高肥力土壤的冬小麦子粒氮素累积量高于低肥力土壤,冬小麦秸秆氮素累积量则以低肥力土壤为高;玉米秸秆还田对冬小麦子粒氮素累积量的影响比对秸秆氮素累积量的影响小,且提高了氮素收获指数。

2)等氮肥用量条件下,氮肥配施玉米秸秆使得氮肥回收率下降 9.6%～15.7%,土壤残留率增加 12.2%～16.4%。

3)氮肥用量在 N 150 kg/hm^2 和 300 kg/hm^2 时,玉米秸秆氮素的当季回收率达到 22.8%～33.1%,冬小麦子粒氮素约 7%～10%来源于还田的玉米秸秆。

4)等氮肥用量和相同土壤肥力条件下,氮肥配施玉米秸秆对冬小麦子粒产量影响不显著,在中量(N1)和高中(N2)氮肥条件下,影响冬小麦子粒产量的主要是土壤肥力水平,该试验结果还有待通过田间试验进一步验证。

参 考 文 献:

[1] 毕于运, 王道龙. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008. 78-79.
Bi Y Y, Wang D L. Evaluation and utilization of crop straw resources in China [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008. 78-79.

[2] 黄志武. 稻秆与标记^{15}N 硫铵配合施用对硫铵氮素有效性和水稻生产的影响[J]. 土壤学报, 1993, 30(2): 224-228.
Huang Z W. Effect of "rice straw + $(^{15}NH_4)_2SO_4$" application on availability of $(^{15}NH_4)_2SO_4$-N and production of rice [J]. Acta Pedol. Sin., 1993, 30(2): 224-228.

[3] 姚丽贤, 黄志武, 卢仁骏, 等. 有机碳源物对水稻生长和氮素有效性的影响[J]. 土壤肥料, 1997, (6): 27-31.
Yao L X, Huang Z W, Lu R J *et al*. Effects of organic materials on rice growth and nitrogen availability [J]. Soil Fert., 1997, (6): 27-31.

[4] 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.
Wang X D, Chen X N, Wang C X *et al*. Decomposition of corn stalk in cropland with different fertility [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2009, 25(10): 252-257.

[5] Ichir L L, Ismaili M, Hofman G. Recovery of N labeled wheat residue and residual effects of N fertilization in a wheat-wheat cropping system under mediterranean conditions [J]. Nutri. Cyc. Agron., 2003, 66: 201-207.

[6] 赵俊晔, 于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 484-490.
Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate on uptake, distribution and utilization of nitrogen in winter wheat under high yielding cultivated condition [J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(4): 484-490.

[7] 王月福, 姜东, 于振文, 曹卫星. 高低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率和增产效应[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 491-495.
Wang Y F, Jiang D, Yu Z W, Cao W X. Nitrogen use efficiency and yield of wheat with basal and top-dressed nitrogen fertilizers in soils with different fertility [J]. Acta Agron. Sin., 2003, 29(4): 491-495.

[8] 李贵桐, 赵紫娟, 黄元仿, 李保国. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 561-567.
Li G T, Zhao Z J, Huang Y F, Li B G. Effect of straw returning on soil nitrogen transformation [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 561-567.

[9] 林琪, 侯立白, 韩伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 561-567.
Lin Q, Hou L B, Han W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 561-567.

[10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
Lu R K. Analytical methods of soil and agro-chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[11] 陈良. 应用 ZhT-03 型质谱计准确测定^{15}N 同位素丰度[J]. 质谱学报, 1986, 7(3): 49-53.
Chen L. Exact determination of isotope ^{15}N abundance with ZHT-03 mass spectrometer [J]. J. Chin. Mass Spectr. Soc., 1986, 7(3): 49-53.

[12] Zhou S L, Wu Y C, Wang Z M *et al*. The nitrate leached below

maize root zone is available for deep - rooted wheat in winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain [J]. Environ. Poll., 2008, 152: 723-730.

[13] 鲁彩艳, 马建, 陈欣, 等. 不同施肥处理对连续三季作物氮肥回收率及其分配与去向的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(2): 400-406.
Lu C Y, Ma J, Chen X, Zhang X D *et al*. Effect of N-fertilization on the use efficiency, distribution and fate of labeled fertilizer in soil-plant systems over three continuous crop cultivations [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2010, 29(2): 400-406.

[14] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和处理的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1014-1018.
Zhao P, Chen F. Effects of straw mulching plus nitrogen fertilizer on nitrogen efficiency and grain yield in winter wheat [J]. Acta Agron. Sin., 2008, 34(6): 1014-1018.

[15] 王淑平, 周广胜, 姜岩, 刘孝义. 添加玉米残体对土壤-植物系统中氮素转化的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 449-452.
Wang S P, Zhou G S, Jiang Y, Liu X Y. Effect of incorporating corn residues into soil on nitrogen transformation in soil-plant ecosystem [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15 (3): 449-452.

[16] 刘立军, 徐伟, 唐成, 等. 土壤背景氮供应对水稻产量和氮肥回收率的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19 (4): 343-349.
Liu L J, Xu W, Tang C *et al*. Effect of indigenous nitrogen supply of soil on t he grain yield and fertilizer-N use efficiency in rice [J]. Chin. J. Rice Sci., 2005, 19(4): 343-349.

[17] Ocio J K, Brooks P L, Jenkinson D S. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N [J]. Soil Biochem., 1991, 23: 171-186.

[18] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 不同碳源物质对土壤无机氮生物固定的影响[J]. 河北农业科学, 2004, 8(2): 6-9.
Tang Y X, Meng C X, Jia S L *et al*. Effects of different organic substance on biological nitrogen fixation in soil [J]. J. Hebei Agric. Sci., 8(2): 6-9.

[19] 唐玉霞, 孟春香. 不同 C/N 比肥料组合对肥料氮生物固定、释放及冬小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 37-40.
Tang Y X, Meng C X. Effects of different combinations of fertilizers on nitrogen biological fixation and release of fertizer and wheat growth [J]. Chin. J. Eco-Agric., 2007, 15(2): 37-40.

[20] 陈欣, 张璐, 史奕, 等. 不同 C/N 比有机物料中有机碳、氮的分解进程研究Ⅰ. 有机 N 的分解进程及 C/N 比的变化[J]. 应用生态学报, 2000, 11(增刊): 21-24.
Chen X, Zhang L, Shi Y. Study on organic C and N decomposition processes of different C/N organic material: Organic N decomposition process and the change of C/N ratio [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(suppl.): 21-24.

[21] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 高绪科. 旱地玉米 N 吸收及其 N 肥利用率研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(2): 179-186.
Wang X B, Cai D X, Zhang J Q *et al*. Nitrogen uptake by corn and N recovery in grain in dry farmland [J]. Sci. Agric. Sin., 2001, 34(2): 179-186.