

麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响

赵鹏¹, 陈阜², 马新明³, 熊淑萍³

(1. 河南农业大学资源与环境学院, 河南 郑州 450002; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094;

3. 河南农业大学农学院, 河南 郑州 450002)

摘要:为探讨秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响,于2006~2007生长季在河南省滑县进行了田间小区定位试验。研究表明,与单施纯氮90、180、270和360 kg/hm²相比,秸秆还田配施同量氮肥能够增加作物产量,冬小麦分别增产7.1%、8.4%、11.1%和10.2%,夏玉米籽粒产量分别增产5.8%、9.5%、10.1%和9.0%,其中,秸秆还田配施N 270 kg/hm²的冬小麦-夏玉米产量最高。为保持周年农田氮素平衡,冬小麦-夏玉米秸秆还田配施纯N不要超过360 kg/hm²。麦玉两熟秸秆还田配施纯N以360~540 kg/hm²为宜。

关键词:秸秆还田;化学氮肥;冬小麦;夏玉米;产量;氮素平衡

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0162-05

秸秆还田对农田系统具有很大的影响,一方面,秸秆还田能促进土壤有机质积累,改善土壤结构,减缓地力衰竭,增加作物产量^[1~7]。另一方面,由于秸秆本身含有碳和氮,还田后必然改变整个农田系统的氮素平衡。据研究,自上世纪90年代以后,我国农田氮素盈余每年保持在360~546万吨氮,相当于N 24~35 kg/hm²^[8],氮素大量盈余,不仅造成氮肥利用率低下,经济效益下降,而且为环境安全留下隐患^[9]。河南省小麦-玉米一年两熟地区的农作物秸秆还田规模越来越大,改进农田养分资源综合管理技术需求迫切,尤其化学氮肥合理使用问题日趋突出。因此,研究秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响,对科学施用氮肥,提高氮素利用效率具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2006~2007年在河南省滑县试验基地进行。滑县位于河南省北部,年平均温度14℃,≥10℃积温4 582℃,年总辐射量4 782 MJ/m²,年降雨量617 mm。前茬玉米收获后,秸秆保留在田间。供试土壤为壤土,有机质质量分数6.36 g/kg、碱解氮77.05 mg/kg、速效磷9.59 mg/kg、速效钾110 mg/kg, pH 8.4。

冬小麦品种为周麦14,播种量为225 kg/hm²,行距为25 cm。田间玉米秸秆粉碎后(长度3~7 cm)全

量(约7 500 kg/hm²)还田,随耕地翻埋(深度25~30 cm)地下(秸秆不还田处理的除外)。翻地时施用磷肥(P₂O₅/过磷酸钙)90 kg/hm²,钾肥(K₂O/氯化钾)75 kg/hm²;氮肥(N/尿素)的50%于整地、划小区后施入,50%于小麦拔节期结合浇水开沟施入。施氮量设0、90、180、270和360 kg/hm² 5个水平。试验采用二因素随机区组设计,施氮与秸秆还田共10个处理组合(用N表示施N处理,用S表示秸秆还田处理),依次为N₀、N₉₀、N₁₈₀、N₂₇₀、N₃₆₀、S+N₀、S+N₉₀、S+N₁₈₀、S+N₂₇₀和S+N₃₆₀,3次重复,共30个小区,小区面积为6 m×6 m=36 m²,小区间隔0.3 m。

冬小麦收获后,按小区将小麦秸秆粉碎覆盖于地面。夏玉米品种为浚单20,每667 m²种植4 350株。夏玉米季的磷肥、钾肥在三叶期施,施用磷肥(P₂O₅/过磷酸钙)90 kg/hm²,钾肥(K₂O/氯化钾)75 kg/hm²;氮肥(N/尿素)的50%在三叶期追施,50%于大喇叭口期追施。施氮量设0、90、180、270和360 kg/hm² 共5个水平。试验小区面积及处理同冬小麦季。

1.2 测定项目与方法

冬小麦收获期每小区取长势均匀的4 m²样方,收获脱粒后烘干计产(冬小麦籽粒产量以15%水分计)。夏玉米的成熟期取长势均匀的10株样品,在105℃下杀青20 min,在80℃下烘至恒重称量,脱粒后烘干计产。凯式定氮法测定植株和籽粒样品的全

收稿日期:2008-10-20

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD17B09);农业部绿色农业公益项目(2007-05)

作者简介:赵鹏(1967—),男,河南滑县人,副研究员,博士,主要从事农业资源高效利用和农业生态学研究。E-mail: zhaopeng@henau.edu.cn。

氮质量分数。

1.3 计算方法及数据分析

氮平衡 = 氮收入 - 氮支出 = $A - B = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5) - (B_1 + B_2)$

A: 氮输入。

A1: 氮肥量是冬小麦 - 夏玉米施用氮肥的总和。

A2: (玉米) 秸秆还田是指种植冬小麦时上茬玉米秸秆还田, 其带入氮量为: 玉米秸秆还田量 $7\ 500\text{ kg/hm}^2$, 秸秆含 N 0.65% , $7500 \times 0.65\% = 48.8\text{ (kg/hm}^2\text{)}$ 。

A3: 灌溉水带入氮量: 试验点周年灌水为 250 m^3 , 鲁如坤等^[10]在河南封丘长期观测认为, 全年灌水 300 m^3 时, 带入氮量 9.45 kg/hm^2 , 因此 $250 \times 9.45/300 = 7.9\text{ (kg/hm}^2\text{)}$ 。

A4: 雨水带入氮量: 试验点全年降雨 564.4 mm 。鲁如坤等^[10]在河南封丘长期观测认为, 周年降雨 615 mm 时, 带入氮量 4.35 kg/hm^2 , 因此 $564.4 \times 4.35/615 = 4.0\text{ (kg/hm}^2\text{)}$ 。

A5: 种子带入氮量约为 5 kg/hm^2 。

B: 氮输出。

B1: 冬小麦籽粒带走氮量。

B2: 夏玉米秸秆和籽粒带走氮量。

所有试验数据采用 SPSS 软件分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量及其构成的影响

2.1.1 秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量的影响

由表 1 可见, 对单施氮肥的处理来说, 在一定范围内, 施用氮肥可以增加冬小麦籽粒产量, 施氮量从 90 kg/hm^2 上升到 270 kg/hm^2 , 冬小麦籽粒产量逐渐增加, 增加率为 17.3% ; 但施氮量从 270 kg/hm^2 达到 360 kg/hm^2 时, 产量不再增加反而下降了 2.7% 。说明过量施用氮肥并不能有效提高小麦产量。

秸秆还田条件下, 在一定范围内, 施用氮肥可以增加冬小麦籽粒产量(表 1), 施氮量从 90 kg/hm^2 上升到 270 kg/hm^2 , 冬小麦籽粒产量逐渐增加, 增加率为 21.6% ; 但施氮量从 270 kg/hm^2 达到 360 kg/hm^2 时, 产量不再增加反而下降了 3.5% 。说明秸秆还田条件下过量施用氮肥同样不能有效提高小麦产量。

比较单施氮肥处理(N)和秸秆还田配施氮肥处

理(S + N), 可以发现(表 1), 除 N0 和 S + N0 外, 籽粒产量均表现为 S + N 处理显著高于 N 处理。在施用等量氮肥情况下, 秸秆还田配施氮肥比单施氮肥增产, S + N90、S + N180、S + N270、S + N360 处理比 N90、N180、N270、N360 处理分别增产了 7.1% 、 8.4% 、 11.0% 和 10.2% , 其中 S + N270 处理的产量最高, 增产幅度最大。

表 1 不同处理对冬小麦产量的影响

Table 1 Effect of different treatments on yield in winter wheat

处理 Treatment	生物产量 Biomass (kg/hm ²)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	收获指数 Harvest index
N0	12225j	5746j	0.47
N90	13836f	6365b	0.46
N180	15733d	7080f	0.45
N270	16965b	7465d	0.44
N360	16883b	7260e	0.43
S + N0	11531h	5535i	0.48
S + N90	14500e	6815g	0.47
S + N180	16684bc	7675c	0.46
S + N270	18300a	8290a	0.45
S + N360	16188cd	8003b	0.49

注: 表中数据为 3 次重复平均值。同一列数据后不同字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)(LSR 法检验)。N 表示只施氮肥, 其后数字表示施氮量(kg/hm^2), S 表示秸秆还田。下同。

Note: Each value in the table is mean of 3 replicates. Values followed by a different letter within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to LSR test. In the 1st column, N means the nitrogen treatment and the following number denotes nitrogen application amount(kg/hm^2), S denotes straw mulching. The same as below.

S + N 处理的收获指数大于 N 处理(表 1), S + N90、S + N180、S + N270、S + N360 处理比 N90、N180、N270、N360 处理分别高 0.01 、 0.01 、 0.01 、 0.06 , 说明秸秆还田配施氮肥能使小麦积累的干物质更多的转移分配到籽粒中去, 生物产量更有利于转化为经济产量。

由表 1 还可看出, 如果不配施氮肥, 秸秆还田则没有增产作用, S + N0 处理比 N0 处理减产 3.7% , 这可能是因为秸秆还田后, 在小麦生长前期, 秸秆腐解与冬小麦互相竞争氮素, 造成作物可吸收氮素减少。

2.1.2 单施氮肥不同施氮水平对冬小麦产量构成因素的影响 穗数、穗粒数和千粒重是小麦产量构成的三要素, 施氮提高了冬小麦产量, 具体表现在影响这些产量性状方面。

表 2 不同处理对冬小麦产量构成因子的影响
Table 2 Effects of different treatments on grain yield components in winter wheat

处理 Treatment	穗数 Number of panicles ($\times 10^5/\text{hm}^2$)	穗粒数 Spikelets per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量(实产) Grain yield (kg/hm^2)
N0	53.0ef	31.0e	45.5f	5746a
N90	59.2c	32.7d	46.0ef	6365h
N180	60.5b	33.9cd	47.0de	7080f
N270	62.0a	35.0bc	48.0cd	7465d
N360	61.0ab	34.0cd	47.0de	7260a
S + N0	52.0f	30.0e	45.0f	5535i
S + N90	54.0e	33.0d	47.0de	6815g
S + N180	55.8d	34.9bc	48.0bc	7675e
S + N270	57.0d	38.0a	52.0a	8290a
S + N360	56.0d	36.0b	50.0b	8003b

由表 2 可见,与单施氮肥相比,秸秆还田配施同量氮肥的单位面积穗数较少。N90、N180、N270、N360 的冬小麦单位面积穗数比 S + N90、S + N180、S + N270、S + N360 分别增加了 5.2×10^5 、 4.7×10^5 、 5×10^5 、 5×10^5 穗/ hm^2 。

与单施氮肥相比,秸秆还田配施同量氮肥的穗粒数多,S + N90、S + N180、S + N270、S + N360 的冬小麦穗粒数比 N90、N180、N270、N360 分别增加了 0.3 个、1 个、3 个、2 个。

与单施氮肥相比,秸秆还田配施氮肥的籽粒千粒重大,S + N90、S + N180、S + N270、S + N360 的冬小麦穗的籽粒千粒重比 N90、N180、N270、N360 分别增加了 1 g、1 g、3 g、2 g。

2.2 秸秆还田配施氮肥对夏玉米产量及其构成的影响

由表 3 可见,在一定范围内,施用氮肥可以增加夏玉米籽粒产量,施氮量从 90 kg/hm^2 上升到 270

kg/hm^2 ,夏玉米籽粒产量逐渐增加,增加率为 29.9%;但施氮量从 270 kg/hm^2 达到 360 kg/hm^2 时,产量不再增加反而下降了 0.5%。说明过量施用氮肥并不能有效提高夏玉米产量。

在一定范围内,秸秆还田配施氮肥可以增加夏玉米籽粒产量,施氮量从 90 kg/hm^2 上升到 270 kg/hm^2 ,夏玉米籽粒产量逐渐增加,增加率为 35.1%;但施氮量从 270 kg/hm^2 达到 360 kg/hm^2 时,产量不再增加反而下降了 1.5%。说明秸秆还田条件下过量施用氮肥也不能有效提高夏玉米产量(表 3)。

比较 N 和 S + N 处理,可以发现(表 3),籽粒产量均表现为 S + N 处理显著高于 N 处理。在施用等量氮肥情况下,秸秆还田配施氮肥比单施氮肥增产,增产率分别为 5.0% (N0)、5.8% (N90)、9.5% (N180)、10.1% (N270) 和 9.0% (N360),其中 S + N270 处理的产量最高,增产幅度最大。

表 3 不同处理对玉米产量及其构成的影响
Table 3 Effects of different treatments on grain yield and its components in summer maize

处理 Treatment	穗粗 Ear thickness (cm)	穗长 Ear length (cm)	穗粒数 Seed per ear	百粒重 100-seed weight (g)	籽粒产量(实产) Grain yield (kg/hm^2)
N0	5.00c	15.40d	603bc	30.09e	6350g
N90	5.15b	16.50b	605b	31.50e	8152d
N180	5.18ab	16.79a	607b	32.05b	10500b
N270	5.19ab	16.80a	608b	32.09b	10585b
N360	5.20ab	16.81a	609ab	32.00c	10530b
S + N0	5.05c	15.98c	604c	31.00c	6667f
S + N90	5.18ab	16.78a	608b	33.15a	8624c
S + N180	5.19ab	16.83a	609ab	33.28a	11500a
S + N270	5.25a	16.86a	615a	33.15a	11655a
S + N360	5.20ab	16.85a	610ab	33.12a	11477a

将秸秆还田配施氮肥与单施氮肥的玉米果穗及产量性状相比较,可以发现,秸秆还田配施氮肥的穗粗大于单施氮肥的穗粗(表 4);秸秆还田配施氮肥的穗长大于单施氮肥的穗长;秸秆还田配施氮肥的穗粒数除 $S+N0 < N0$ 外,其它处理大于单施氮肥;秸秆还田配施氮肥的百粒重大于单施氮肥的百粒重。说明秸秆还田明显提高了夏玉米的产量构成指标。这与霍竹等^[11]、盛良学等^[12]的研究结果基本

一致。

2.3 秸秆还田对麦玉两熟周年氮素平衡的影响

分析农田氮素平衡,可了解氮素的盈余状况,为指导农业生产提供依据。按照农业生态学的观点,氮输入包括氮肥、还田秸秆、灌溉水和雨水。氮输出包括作物携出(籽粒和秸秆)、(化肥、土壤)氮的损失,其中氮的损失包括氨挥发、反硝化(N_2O 、 NO_x 、 N_2)和 $NO_3^- - N$ 淋失。

表 4 冬小麦-夏玉米农田氮素平衡(kg/hm²)
Table 4 Nitrogen balance in cropland of wheat - maize

处理 Treatment	N0	N90	N180	N270	N360	S + N0	S + N90	S + N180	S + N270	S + N360
A)氮输入 N input										
1)氮肥 N fertilizer	0	180	360	540	720	0	180	360	540	720
2)(玉米)秸秆 straw	0	0	0	0	0	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8
3)灌溉水 Irrigation	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
4)雨水 Precipitation	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5)种子 Seed	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
氮总收入 Total N input	16.9	196.9	376.9	556.9	736.9	65.7	245.7	425.7	605.7	785.7
B)氮输出 N output										
1)冬小麦籽粒 Grain of winter wheat	112.6	128.6	147.3	156.8	157.5	107.9	142.4	165.8	179.9	179.3
2)夏玉米秸秆和籽粒 Straw and grain of summer maize	141.9	181.2	240.4	243.4	242.9	143.1	184.7	250.8	260.1	261.5
氮总支出 Total N output	254.5	309.8	387.7	400.2	400.4	251	327.1	416.6	440	440.8
氮平衡 N balance	-237.6	-112.9	-10.8	156.7	336.5	-185.3	-81.4	9.1	165.7	344.9

注:表中数据以冬小麦-夏玉米周年计。

表 4 显示了秸秆还田对冬小麦生-夏玉米周年生产中的氮素平衡的影响。通过表 4 可以看出,周年施 $N0$ 、 $N180$ 、 $N360$ 、 $N540$ 、 $N720$ kg/hm^2 的氮素盈亏量分别为 -237.6 、 -112.9 、 -10.8 、 156.7 和 336.5 kg/hm^2 ;秸秆配施 $N0$ 、 $N180$ 、 $N360$ 、 $N540$ 、 $N720$ kg/hm^2 的氮素盈亏量分别为 -185.3 、 -81.4 、 9.1 、 165.7 和 344.9 kg/hm^2 。说明单施 $N540$ 、 $N720$ kg/hm^2 或秸秆还田配施 $N540$ 、 $N720$ kg/hm^2 会造成农田生态系统氮素过量盈余,因此在实际生产中需合理施用化学氮肥,冬小麦-夏玉米轮作施纯 N 总量不要超过 360 kg/hm^2 。

从保持农田氮素平衡的角度出发,秸秆还田条件下,应该减少化学氮肥的供应量, $S+N180$ 处理轮作周期可减少化学氮肥 9.0 kg/hm^2 , $S+N270$ 处理轮作周期可减少化学氮肥 165.6 kg/hm^2 , $S+N360$ 处理轮作周期可减少化学氮肥 344.9 kg/hm^2 。

3 讨论与结论

秸秆还田改变了作物赖以生长的土壤养分状

况,影响了作物的生长发育,因而最终会影响到作物产量。本研究结果表明,秸秆还田配施适量化学氮肥可以提高作物产量。秸秆还田配施纯氮 270 kg/hm^2 的冬小麦产量最高,增产幅度最大;秸秆还田配施纯氮 270 kg/hm^2 的夏玉米产量最高,增产幅度最大。

大部分文献报道秸秆还田对冬小麦产量有增产作用^[1-4],也有减产的报道^[13]。减产的原因是秸秆单独还田导致土壤碳氮失衡^[14,15]。关于秸秆还田增产的原因,刘义国等^[6]认为,秸秆还田提高了小麦叶绿素含量,促进了旗叶的光合作用与蒸腾作用,进而促进了物质合成和转化;赵鹏等^[16]认为,秸秆还田配施适量氮肥可以解决土壤微生物与作物竞争土壤中氮源的问题,提高了冬小麦的氮效率。

在麦玉轮作情况下,考虑到农田周年氮素平衡,基于秸秆还田的化学氮肥施用,应该减少施用量,冬小麦-夏玉米施纯 N 不要超过 360 kg/hm^2 。兼顾作物产量和农田氮素平衡,秸秆还田配施纯 N 以 $360 \sim 540$ kg/hm^2 为宜。本研究在分析农田氮素平衡

时,限于试验条件,没有计算土壤和化肥氮的损失(淋溶、挥发),没有考虑土壤氮的矿化作用,也没有考虑秸秆还田对土壤矿化的“激发效应”,而把土壤作为“黑箱”,仅考虑了“氮的表现输入和输出”,但这并不影响从宏观上说明秸秆还田对农田生态系统氮素平衡的影响。

参考文献:

- [1] 劳秀荣,孙伟红,王真,等.秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J].土壤学报,2003,40(4):618—623.
- [2] 江永红,字振荣,马永良.秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J].土壤通报,2001,32(5):209—213.
- [3] 曾木祥,王蓉芳,彭世琪,等.我国主要农区秸秆还田试验总结[J].土壤通报,2002,3(1):336—339.
- [4] 张振江.长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响[J].土壤通报,1998,29(4):154—155.
- [5] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, et al. Rice yield and nitrogen efficiency under alternative straw management practices[J]. Agron J, 2000,92:1096—1103.
- [6] 刘义国,林琪,王月福.秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(1):42—44.
- [7] 王淑平,江源,贾书刚,等.秸秆还田对玉米高产、稳产、优质效应的研究[J].吉林农业大学学报,1997,19(4):56—59.
- [8] 张福锁,巨晓棠.对我国持续农业发展中氮肥管理与环境问题的几点认识[J].土壤学报,2002,39(增刊):41—55.
- [9] 朱兆良.农田生态系统中化肥氮的去向和氮素管理[C]//朱兆良,文启孝.中国土壤氮素.南京:江苏科技出版社,1992:213—249.
- [10] 鲁如坤,刘鸿翔,闻大中,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究Ⅱ.农田养分收入参数[J].土壤通报,1996,27(4):151—154.
- [11] 霍竹,王璞,邵明安.秸秆还田配施氮肥对夏玉米灌浆过程和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):33—38.
- [12] 盛良学,黄道友,汪立刚,等.稻草异茬还田配施化肥对春玉米生产力的效应[J].西北农业学报,2005,14(3):59—62.
- [13] 刘翼浩,高旺盛,朱文娜.秸秆还田机理与技术模式[M].北京:中国农业出版社,2001:14—15.
- [14] 刘翼浩,王爱玲,高旺盛.实行秸秆还田,促进农业可持续发展[J].作物杂志,1998,(5):1—5.
- [15] Kumar K, Goh K M. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2003,34:2441—2460.
- [16] 赵鹏,陈卓.秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J].作物学报,2008,34(6):1014—1018.

Effects of integrated straw on crop yield and nitrogen balance in winter wheat & summer maize

ZHAO Peng¹, CHEN Fu², MA Xin-ming³, XIONG Shu-ping³

(1. College of Resource and Environment, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450002, China;

2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

3. Agronomy College, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

Abstract: The current experiment was carried out in Hua Country town of He'nan Province to study the effects of integrated straws on crop yield and nitrogen balance in winter wheat & summer maize in the growing season of 2006 ~ 2007. The experiment had 10 treatments: Nitrogen rate of N0, N90, N180, N270, and N360(kg/hm²), with and without crop residue incorporation to soil, respectively. Compared with the treatments with nitrogen fertilizer only, straw incorporation plus nitrogen fertilizer of N90, N180, N270, and N360(kg/hm²), respectively, increased winter wheat grain yield by 7.1%, 8.4%, 9.5%, 11.1%, and 10.2%, increased summer maize grain yield by 5.8%, 9.5%, 10.1%, and 9.0%. The S + N 270 treatment had the largest amount and increasing ratio of grain yield. In order to keep the nitrogen balance during one year, It is suitable to straw incorporation plus purity nitrogen to apply purity nitrogen to winter wheat and summer maize do not surpass 360 kg/hm², 360 ~ 540 kg/hm².

Keywords: returning straws to the soil; nitrogen fertilizer; winter wheat; summer maize; grain yield; nitrogen balance