

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.03.010

张斯梅, 段增强, 顾克军, 等. 稻秸还田下减量化施氮对小麦产量、养分吸收及土壤理化性质的影响. 土壤, 2023, 55(3): 537–543.

稻秸还田下减量化施氮对小麦产量、养分吸收及土壤理化性质的影响^①

张斯梅^{1,2,3}, 段增强^{1*}, 顾克军², 张传辉², 张恒敢²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 江苏省农业科学院粮食作物研究所, 南京 210014; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为明确稻秸还田下减量化施氮对小麦产量、养分吸收及土壤理化性质的影响, 以小麦品种“宁麦 16”为试验材料开展田间试验, 设置不施氮对照(CK)、不同施氮量(常量施氮 225 kg/hm², N1; 减量 20% 施氮 180 kg/hm², N2)和氮肥运筹(基肥与追肥的比例为 5:5, M1; 基肥与追肥的比例为 7:3, M2)处理, 测定并分析不同施氮量和氮肥运筹下小麦产量及其构成因素、养分吸收与分配、氮肥利用效率及土壤理化性质。结果表明, 稻秸还田下, 施氮可使小麦产量显著增加, N2 处理小麦产量较 N1 处理仅降低了 80.72 kg/hm², 提高基施氮肥比例可使小麦单位面积有效穗数增加。施氮显著促进了小麦籽粒、秸秆和地上部的氮素、磷素和钾素吸收, N2 处理小麦氮素、磷素和钾素吸收量低于 N1 处理; N1 和 N2 水平下, M2 处理小麦氮素和磷素吸收量均高于 M1 处理, 而钾素吸收量低于后者。N2 处理小麦氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥表观利用率和氮素生理效率较 N1 处理提高, 而 100 kg 籽粒吸氮量降低。N1 处理土壤碱解氮含量显著高于 CK; N2 处理土壤有机质、碱解氮和速效钾含量低于 N1 处理, 而土壤有效磷含量高于后者; N1 和 N2 水平下, M1 处理土壤有机质和碱解氮含量高于 M2 处理, 而土壤有效磷和速效钾含量表现为 M2 处理高于 M1 处理。综合来看, 稻秸还田下, 常规施氮量基础上减量 20%, 适当提高基施氮肥比例, 可增加单位面积有效穗数, 实现小麦高产稳产, 提高氮肥利用效率。

关键词: 稻秸还田; 减氮施肥; 产量; 养分吸收; 土壤理化性质

中图分类号: S158.3; S512.1 文献标志码: A

Effects of Reduced Nitrogen Fertilization on Wheat Yield, Nutrient Uptake and Soil Physicochemical Properties Under Rice Straw Returning

ZHANG Simei^{1,2,3}, DUAN Zengqiang^{1*}, GU Kejun², ZHANG Chuanhui², ZHANG Henggan²

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to clarify the effects of reduced nitrogen fertilization on wheat yield, nutrient uptake and soil physicochemical properties under rice straw returning, a field experiment was conducted with the wheat variety “Ningmai 16” as test material. The treatments were designed as follows: 1) nitrogen application: no nitrogen application control (CK), constant nitrogen application of 225 kg/hm² (N1), reduced nitrogen application of 180 kg/hm² (N2); 2) nitrogen management: the ratio of base fertilizer to topdressing is 5:5 (M1) and 7:3 (M2). Wheat yield and its components, nutrient absorption and distribution, nitrogen use efficiency and soil physicochemical properties were measured and analyzed. The results show that wheat yield of N2 is only 80.72 kg/hm² lower than that of N1. Increasing the proportion of basic nitrogen application increases the number of effective panicles per unit area. Nitrogen application significantly promotes the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium in wheat grains, straws and shoots. The absorption of nitrogen, phosphorus and potassium of N2 are lower than those of N1. At N1 and N2 levels, nitrogen and phosphorus uptake of M2 are higher than those of M1, while potassium uptake of M2 is lower than that of M1.

①基金项目: 江苏省重点研发计划项目(BE2020319)和江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(18)1002)资助。

* 通讯作者(zqduan@issas.ac.cn)

作者简介: 张斯梅(1981—), 女, 江苏赣榆人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事作物栽培生理生态及秸秆资源化利用研究。E-mail: zhangsimei929@sina.com

Nitrogen application significantly increases wheat yield. Nitrogen agronomic efficiency, nitrogen partial productivity, nitrogen apparent efficiency and nitrogen physiological efficiency of N2 are higher than those of N1, while nitrogen uptake of 100 kg grain is decreased. The content of available nitrogen of N1 is significantly higher than that of CK. The contents of organic matter, available nitrogen and available potassium of N2 are lower than those of N1, while the content of available phosphorus is higher than that of N1. At N1 and N2 levels, the contents of organic matter and available nitrogen of M1 are higher than those of M2, while the contents of available phosphorus and available potassium of M2 are higher than those of M1. In general, under the condition of returning rice straw to the field, reducing conventional nitrogen application by 20% and appropriately increasing the proportion of basic nitrogen application can increase the number of effective panicles per unit area, achieve high and stable wheat yield, and improve nitrogen use efficiency.

Key words: Straw returning; Nitrogen reduction; Grain yield; Nutrient uptake; Physicochemical properties of soil

我国是农业大国,农作物秸秆资源丰富,年产生量超过 9 亿 t,占世界秸秆产生总量的 20%~30%^[1-3]。秸秆是农田生态系统的一种重要有机资源,富含作物生长所需的氮、磷、钾等营养元素^[4-5]。秸秆还田不仅能够避免露天焚烧引起的资源浪费和环境污染,还具有培肥地力、优化农田生态环境等作用^[6-8]。水稻和小麦是我国的主要粮食作物,稻麦轮作是我国长江流域主要的轮作模式之一^[9]。稻麦轮作农田存在氮肥过量施用、利用效率不高的问题,过量施用的氮肥不仅通过渗漏、氨挥发等途径流失,还导致温室气体排放增加、农业面源污染加剧等环境问题^[10-11]。

大量研究表明,施用氮肥可促进作物养分吸收,进而使作物增产,但氮肥施用量过大,作物产量反而降低。稻麦轮作系统中,种植户为了追求作物高产,不断增加氮肥投入量,造成生产成本上升、经济效益下降、氮肥利用效率降低等问题。近年来,秸秆全面禁止露天焚烧,全量原位还田是秸秆资源化利用的最有效途径,秸秆全量还田后氮素合理施用技术需求迫切。前人关于稻麦轮作地区麦田氮素管理的研究主要侧重于秸秆还田、施氮量及两者配施对小麦产量、氮素利用率等的影响^[12-14],针对稻麦还田下减氮施肥对小麦产量、养分吸收及土壤理化性质影响的研究较少。氮肥减量化技术应在适当减少施氮量的同时优化氮肥运筹,兼顾作物产量、经济效益与环境保护。秸秆全量还田条件下,如何实现小麦稳产、生产成本降低与生态环境保护的多重目标是氮肥减量化施用的关键所在。因此,本试验以小麦品种“宁麦 16”为材料,设置了不同的施氮量及氮肥运筹处理,探讨稻麦还田下减量化施氮对小麦产量、养分吸收及土壤理化性质的影响,以期对秸秆还田下小麦高产高效栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为小麦品种“宁麦 16”,由江苏省农业科学院农业生物技术研究所提供。

1.2 试验设计

试验于 2018—2019 年度在江苏省农业科学院试验地(32°02'N, 118°52'E)进行。试验地前茬作物为水稻,水稻籽粒收获后秸秆全部旋耕还田。试验开始前耕层土壤有机质含量为 17.75 g/kg,碱解氮含量为 76.97 mg/kg,有效磷含量为 19.87 mg/kg,速效钾含量为 82.10 mg/kg。试验以不施氮肥为对照(CK),施氮量设置 2 个水平,分别为常量施氮(225 kg/hm², N1)和减量 20% 施氮(180 kg/hm², N2);每个氮水平下设置 2 个氮肥运筹比例,基肥与追肥的比例分别为 5:5(M1)和 7:3(M2);共 5 个处理,分别为 CK、N1M1、N1M2、N2M1 和 N2M2,随机区组设计,每个处理 3 次重复。小区面积为 20 m²。小麦于 2018 年 11 月 2 日播种,行距 25 cm,人工条播。供试氮肥为尿素(含 N 46%),分基肥和追肥 2 次施用。各处理磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)施用量分别为 105 kg/hm²和 120 kg/hm²,作为基肥一次性施入。所有肥料通过人工撒施,基肥于小麦播种前施用,追肥于倒三叶期施用。其他田间管理措施按当地大面积生产进行。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 产量及其构成因素测定 于小麦成熟期调查单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒重。各小区单独收获,自然晾晒后测含水率,换算成含水率为 13% 的产量。

1.3.2 植株养分测定 于小麦成熟期取样,籽粒和秸秆烘干后粉碎,分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色

法和火焰光度计法测定全氮、全磷和全钾含量^[15]。

1.3.3 土样采集与养分含量测定 于小麦成熟期采用五点取样法在各小区采集0~20 cm土壤样品,风干后拣去植物残体,粉碎过筛,采用土壤农化分析常规方法测定土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量^[15]。

1.4 数据处理与分析

按以下公式进行小麦氮肥利用效率的计算:

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/施氮量

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区籽粒产量/施氮量

氮肥表观利用率(%)=(施氮区植株氮素积累量-不施氮区植株氮素积累量)/施氮量×100

氮素生理效率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/(施氮区植株氮素积累量-不施氮区植株氮素积累量)

100 kg 籽粒吸氮量(kg)=植株氮素积累量/籽粒产量×100

采用 Microsoft Excel 2016 进行试验数据的整理和计算,运用 IBM SPSS Statistics 26.0 进行统计分析,使用 LSD 法进行多重比较(显著性水平为 $P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 稻秸还田下减量化施氮对小麦产量及其构成因素的影响

从表1可以看出,稻秸还田条件下,施用氮肥可使小麦籽粒产量显著增加。与N2处理相比,N1处理小麦平均产量仅高出80.72 kg/hm²,差异不显著。可见,适当减少氮肥施用量,小麦产量仍可保持稳定。进一步分析产量构成因素,各施氮处理的有效穗数和每穗粒数较CK增加,而千粒重降低;N2处理有效穗数和每穗粒数均值低于N1处理,而千粒重均值较后者略有增加,差异均未达显著水平。N1和N2水平下,M2处理单位面积有效穗数高于M1处理,而千粒重反之。可见,稻秸还田条件下,适当减少氮肥用量,提高基施氮肥比例,可增加有效穗数,小麦产量维持在较高水平。

2.2 稻秸还田下减量化施氮对小麦氮素吸收的影响

表2结果表明,稻秸还田条件下,各施氮处理的地上部氮素吸收量均显著高于不施氮对照,籽粒和秸秆氮素吸收量较不施氮对照分别提高了61.67~80.99 kg/hm²和18.20~24.18 kg/hm²。与N1处理相比,N2处理小麦地上部、籽粒和秸秆氮素吸收量均值下降,其中地上部和籽粒氮素吸收量均值差异达显

著水平。N1水平下,M2处理地上部、籽粒、秸秆氮素吸收量均高于M1处理,其中秸秆氮素吸收量差异显著;N2水平下,M2处理地上部、籽粒、秸秆氮素吸收量均高于M1处理,处理间差异未达显著水平。施氮也对小麦地上部的氮素分配产生影响,不同处理小麦地上部的氮素分配存在差异(图1)。与CK相比,各施氮处理籽粒氮素吸收量占地上部氮素吸收量的比例降低,其中N1M1处理占比最高,N2M2处理占比最低。

表1 稻秸还田下减量化施氮对小麦产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of reduced nitrogen fertilization on wheat yield and components under rice straw returning

处理	有效穗数 (10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
CK	370.02 b	30.06 b	39.35 a	4 031.84 b
N1M1	431.54 a	41.07 a	38.20 a	6 590.31 a
N1M2	448.31 a	40.98 a	37.95 a	6 784.34 a
N2M1	414.01 ab	40.90 a	38.90 a	6 488.11 a
N2M2	438.50 a	41.09 a	37.37 a	6 725.10 a

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异显著($P<0.05$),下表同。

表2 稻秸还田下减量化施氮对小麦氮素吸收的影响

Table 2 Effects of reduced nitrogen fertilization on nitrogen accumulation of wheat under rice straw returning

处理	氮素吸收量(kg/hm ²)		
	籽粒	秸秆	地上部
CK	73.26 c	15.70 c	88.96 c
N1M1	152.55 ab	33.90 b	186.45 ab
N1M2	154.25 a	39.88 a	194.13 a
N2M1	134.93 b	35.11 b	170.04 b
N2M2	136.25 ab	36.33 ab	172.58 b

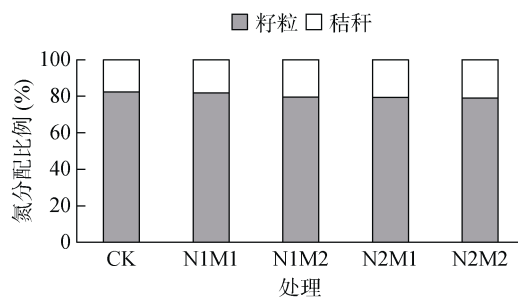


图1 稻秸还田下减量化施氮对小麦地上部氮素分配的影响

Fig. 1 Effects of reduced nitrogen application on nitrogen distribution in wheat grains and straws under rice straw returning

2.3 稻秸还田下减量化施氮对小麦磷素吸收的影响

由表3可知,稻秸还田条件下,氮肥施用促进了

小麦地上部对磷素的吸收,施氮处理地上部、籽粒和秸秆的磷素吸收量较 CK 显著提高,分别提高了 10.77~14.07、7.30~9.79 和 3.48~4.28 kg/hm²。与 N1 处理相比, N2 处理小麦地上部、籽粒和秸秆的磷素吸收量均值分别降低了 2.29、1.51 和 0.79 kg/hm²,两者间差异未达显著水平。不同氮肥运筹处理间进行比较, M1 处理和 M2 处理间小麦地上部、籽粒和秸秆的磷素吸收量差异均不显著。进一步分析不同处理小麦地上部的磷素分配(图 2),结果表明,CK 籽粒磷素吸收量占地上部磷素吸收量的比例高于施氮处理,高出了 5.40%~6.82%。与 N1 处理相比, N2 处理籽粒磷素吸收量占地上部磷素吸收量的比例略有升高。N1 和 N2 水平下, M1 处理和 M2 处理籽粒磷素吸收量占地上部磷素吸收量的比例均相当。

表 3 稻秸还田下减量化施氮对小麦磷素吸收的影响
Table 3 Effects of reduced nitrogen fertilization on phosphorus accumulation of wheat under rice straw returning

处理	磷素吸收量(kg/hm ²)		
	籽粒	秸秆	地上部
CK	21.14 b	3.25 b	24.39 b
N1M1	29.82 a	7.52 a	37.34 a
N1M2	30.93 a	7.53 a	38.46 a
N2M1	28.44 a	6.73 a	35.16 a
N2M2	29.30 a	6.75 a	36.04 a

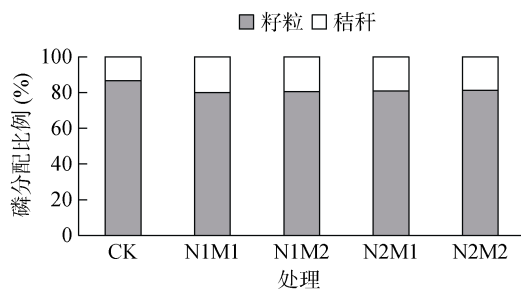


图 2 稻秸还田下减量化施氮对小麦地上部磷素分配的影响

Fig. 2 Effects of reduced nitrogen application on phosphorus distribution in wheat grains and straws under rice straw returning

2.4 稻秸还田下减量化施氮对小麦钾素吸收的影响

由表 4 可知,氮肥施用使小麦地上部的钾素吸收量显著增加,较 CK 增加了 45.62~58.44 kg/hm²;籽粒和秸秆钾素吸收量均显著高于 CK,分别高出了 4.61~6.49 kg/hm²和 41.02~51.96 kg/hm²。N2 处理小麦地上部、籽粒和秸秆的钾素吸收量均值低于 N1 处理,两者间地上部和秸秆的钾素吸收量差异达显著水平。N1 和 N2 水平下,提高氮肥基施比例,地上

部、籽粒和秸秆钾素吸收量略有降低,差异未达显著水平。如图 3 所示,不同处理间籽粒钾素吸收量占地上部钾素吸收量的比例存在差异,CK 籽粒氮素吸收量占比高于施氮处理,高出了 5.52%~6.27%。与 N1 处理相比, N2 处理籽粒钾素吸收量占比提高。N1 和 N2 水平下, M1 处理籽粒钾素吸收量占比略高于 M2 处理。对不同的施氮处理进行比较,结果显示, N2M1 处理籽粒钾素吸收量占比最高, N1M2 处理籽粒钾素吸收量占比最低,两者相差 0.75%。

表 4 稻秸还田下减量化施氮对小麦钾素吸收的影响
Table 4 Effects of reduced nitrogen fertilization on potassium accumulation of wheat under rice straw returning

处理	钾素吸收量(kg/hm ²)		
	籽粒	秸秆	地上部
CK	10.42 b	37.07 c	47.50 c
N1M1	16.91 a	89.03 a	105.94 a
N1M2	16.12 a	86.63 ab	102.75 ab
N2M1	15.97 a	81.27 ab	97.24 ab
N2M2	15.03 a	78.09 b	93.12 b

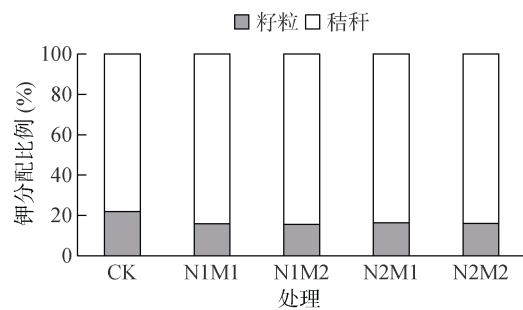


图 3 稻秸还田下减量化施氮对小麦地上部钾素分配的影响

Fig. 3 Effects of reduced nitrogen application on potassium distribution in wheat grains and straws under rice straw returning

2.5 稻秸还田下减量化施氮对小麦氮肥利用效率的影响

由表 5 可知,稻秸还田条件下,在常规施氮量基础上减量 20%,小麦氮肥利用效率提高。N2 处理小麦氮肥农学效率、氮肥偏生产力和氮素生理效率显著高于 N1 处理,氮肥表观利用率均值亦有所提高;N2 处理 100 kg 籽粒吸氮量均值较 N1 处理降低了 0.25 kg,差异未达显著水平。N1 和 N2 水平下, M2 处理的氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥表观利用率和氮素生理效率较 M1 处理均提升,差异未达显著水平。可见,稻秸还田下,适当减少氮肥施用量,提高基施氮肥比例,可提高小麦的氮肥利用效率。

表5 稻秸还田下减量化施氮对小麦氮肥利用效率的影响
Table 5 Effects of reduced nitrogen application rate on nitrogen use efficiency of wheat under rice straw returning

处理	氮肥农学效率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮肥表观利用率 (%)	氮素生理效率 (kg/kg)	100 kg 籽粒吸氮量 (kg)
CK	-	-	-	-	2.21 b
N1M1	11.37 b	29.29 b	43.33 a	26.22 b	2.83 a
N1M2	12.23 b	30.15 b	46.74 a	26.23 b	2.86 a
N2M1	13.65 a	36.05 a	45.04 a	30.25 a	2.62 a
N2M2	14.96 a	37.36 a	46.45 a	32.42 a	2.57 a

2.6 稻秸还田下减量化施氮对麦田土壤理化性质的影响

如表6所示, 稻秸还田条件下, 施氮处理土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量较CK均增加, 其中N1处理土壤碱解氮含量显著高于CK。N2处理土壤有机质、碱解氮和速效钾含量低于N1处理, 而土壤有效磷含量高于后者。N1和N2水平下, M2处理土壤有机质和碱解氮含量低于M1处理, 而土壤有效磷和速效钾含量则表现为M2处理高于M1处理, 差异均未达显著水平。

表6 稻秸还田下减量化施氮对麦田土壤基本理化性状的影响

处理	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	18.13 a	64.78 b	17.91 a	77.62 a
N1M1	19.12 a	80.60 a	18.67 a	81.44 a
N1M2	18.67 a	77.84 a	19.85 a	86.57 a
N2M1	18.64 a	73.49 ab	20.07 a	80.91 a
N2M2	18.13 a	71.46 ab	21.63 a	85.48 a

3 讨论

氮肥施用量与作物的产量形成密切相关, 这也是农民为了追求作物高产而不断增加施氮量的原因所在。秸秆机械化全量还田是我国当前秸秆资源化利用的主要途径, 不乏秸秆还田下麦田氮素管理研究的报道^[14, 16-18]。赵鹏和陈阜^[14]研究结果显示, 在一定的施氮量范围内, 小麦的籽粒产量随施氮量的增加而增加, 当施氮量过高时, 小麦的籽粒产量反而下降, 过量施用氮肥不能使小麦增产。王静静等^[16]研究认为, 稻秸全量还田条件下, 施氮量在225~375 kg/hm²范围内, 小麦产量随着施氮量的增加呈先增后降的趋势。张珊等^[17]研究表明, 水稻秸秆还田配施适量氮肥有利于提高晚播小麦的籽粒产量。秸秆还田配施氮

肥使小麦增产的原因, 有研究认为是由于氮肥利用效率和吸氮量转化为籽粒产量的能力得以提高^[14]; 也有研究认为是由于小麦叶绿素含量提高, 促进了旗叶的光合作用与蒸腾作用、物质的合成与转化^[19]。赵颖等^[18]研究结果表明, 水稻秸秆还田条件下, 与常规施肥相比, 化肥减量20%处理有效穗数和千粒重减少, 每穗粒数增加, 小麦最终产量无明显差异。本试验研究结果表明, 施氮使小麦产量显著增加, 氮肥减量20%处理小麦产量较常规施氮量仅降低了80.72 kg/hm², 产量维持稳定。提高基施氮肥比例使小麦有效穗数增加, 产量提高, 可见稻秸还田下氮肥适当前移, 有利于减轻秸秆还田对小麦前期生长的不利影响, 增加有效穗数, 实现小麦高产稳产。

氮素和磷素是植物体内核酸、氨基酸、磷脂等许多重要化合物的成分, 钾素参与植物的新陈代谢, 这3种营养元素对于作物的生长发育与产量形成起着重要的作用。农民为了追求作物的高产, 不断增加氮肥投入量, 导致生产成本高、氮素损失增加、氮素利用率低等问题^[20-21]。稻秸还田条件下, 如何合理施用氮肥是人们普遍关注的问题, 关于施氮量对小麦养分吸收的影响, 前人开展了相关研究。张珊等^[17]研究结果表明, 稻秸还田下晚播小麦全生育期的氮磷钾积累量随施氮量的增加而显著增加; 王静静等^[16]稻秸还田下的研究显示, 小麦氮素积累量随施氮量的增加而增加, 当施氮量超过300 kg/hm²时增加作用不显著; 赵颖等^[18]研究结果显示, 稻秸还田下减肥20%处理小麦籽粒、秸秆的氮素积累量与常规施肥处理无显著差异。本试验研究结果表明, 稻秸还田条件下, 氮肥施用促进了小麦的氮磷钾吸收, 氮肥减量20%处理小麦氮素、磷素和钾素吸收量较常规施氮量降低。无论常量施氮还是减量20%施氮, 提高氮肥基施比例, 小麦氮素和磷素吸收量提高, 而钾素吸收量降低。关于氮肥施用量对小麦氮肥利用效率的影响, 王金金等^[22]玉米秸秆还田条件下的研究认为, 小麦氮肥农学效率和氮肥偏生产力随施氮量的增加而降低; 陆晓松等^[23]研究结果也表明, 小麦氮肥利用率随施氮量的增大而下降, 过量施氮不仅无益于小麦增产, 而且会导致氮肥利用率进一步降低。本试验研究中, 稻秸还田条件下, 氮肥减量20%处理在保证小麦稳产的同时, 可提高小麦氮肥利用效率, 氮肥农学效率、氮肥偏生产力和氮素生理效率显著高于常量施氮处理。合理的氮肥运筹是实现小麦高产的重要措施, 也具有提高氮肥利用率的作用^[24]。本试验结果表明, 稻秸还田条件下, 优化氮肥运筹, 氮肥适当前

移,可提高小麦氮肥利用效率,这与孙雪原等^[25]的研究结果一致。

秸秆还田与肥料施用影响农田土壤的理化性质,具有培肥地力、提高土壤养分含量等作用^[26-27]。赵颖等^[12]研究结果显示,施肥处理小麦成熟期土壤有机碳、碱解氮含量显著高于不施肥处理,土壤全氮、有效磷和速效钾含量有所增加但无显著差异。本研究中,稻秸还田下氮肥施用使土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量提高,其中常量施氮处理土壤碱解氮含量显著高于不施氮对照。近年来,为了农业可持续生产,在作物稳产的前提下,减少化肥施用量,提高氮肥利用效率,针对减肥下土壤养分变化的研究亦有报道。吴玉红等^[28]研究表明,水稻秸秆还田条件下,化肥减量 15% 和 30% 处理 0~15 cm 土壤有机质、全氮、全磷、全钾和速效钾含量均显著降低,土壤有效磷含量降低但不显著。本研究中,在常规施氮量基础上减量 20%,土壤有机质、碱解氮和速效钾含量降低,土壤有效磷含量有所升高但差异不显著,这与赵颖等^[18]的研究结果基本一致。本试验研究结果还显示,提高基施氮肥比例使土壤有机质和碱解氮含量降低,而土壤有效磷和速效钾含量升高。可见氮肥减量施用对土壤碱解氮含量的影响相对较大,氮肥适当前移对土壤基本理化性状无明显影响。

4 结论

稻秸还田条件下,施氮使小麦产量显著增加,氮肥减量 20% 处理小麦产量较常规施氮量处理略有降低,提高基施氮肥比例使小麦单位面积有效穗数增加。氮肥施用促进了小麦的氮素、磷素和钾素吸收,氮肥减量 20% 处理氮素、磷素和钾素吸收量降低,提高氮肥基施比例使氮素和磷素吸收量提高而钾素吸收量降低。氮肥减量 20% 处理小麦氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥表观利用率和氮素生理效率提高,而 100 kg 籽粒吸氮量降低。氮肥施用使土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量提高,氮肥减量 20% 处理土壤有机质、碱解氮和速效钾含量降低,提高基施氮肥比例使土壤有机质、碱解氮含量降低而土壤有效磷、速效钾含量升高。总体来看,稻秸还田条件下,常规施氮量基础上减量 20%,适当提高基施氮肥比例,可提高单位面积有效穗数,小麦产量维持在较高水平,氮肥利用效率提升。

参考文献:

- [1] 张斯梅,杨四军,顾克军,等. 稻麦轮作系统麦秸全量还田后不同耕整方式的作业效率与成本分析[J]. 农业开发与装备, 2020(12): 32-34.
- [2] 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.
- [3] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel[J]. Environment International, 2005, 31(4): 575-584.
- [4] 高祥照,马文奇,马常宝,等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242-247.
- [5] 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.
- [6] 徐玉宏. 我国秸秆焚烧污染与防治对策[J]. 环境与可持续发展, 2007, 32(3): 21-24.
- [7] Tanaka H, Kyaw K M, Toyota K, et al. Influence of application of rice straw, farmyard manure, and municipal biowastes on nitrogen fixation, soil microbial biomass N, and mineral N in a model paddy microcosm[J]. Biology and Fertility of Soils, 2006, 42(6): 501-505.
- [8] 朱强根,朱安宁,张佳宝,等. 保护性耕作下土壤动物群落及其与土壤肥力的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 70-76.
- [9] 范明生,江荣风,张福锁,等. 水旱轮作系统作物养分管理策略[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 424-432.
- [10] Chen G, Chen Y, Zhao G H, et al. Do high nitrogen use efficiency rice cultivars reduce nitrogen losses from paddy fields?[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 209: 26-33.
- [11] Sun B, Zhang L X, Yang L Z, et al. Agricultural non-point source pollution in China: Causes and mitigation measures[J]. AMBIO, 2012, 41(4): 370-379.
- [12] 赵颖,周枫,罗佳琳,等. 水稻秸秆还田配施肥料对小麦产量和氮素利用的影响[J]. 土壤, 2021, 53(5): 937-944.
- [13] 张维乐,戴志刚,任涛,等. 不同水旱轮作体系秸秆还田与氮肥运筹对作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1254-1266.
- [14] 赵鹏,陈阜. 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.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [16] 王静静,毛筱晔,邬明伟,等. 不同氮肥运筹下水稻秸秆腐解特征及对稻茬小麦产量和土壤养分的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(6): 54-57.
- [17] 张姗,石祖梁,杨四军,等. 施氮和秸秆还田对晚播小麦养分平衡和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2714-2720.
- [18] 赵颖,周枫,罗佳琳,等. 稻秸还田下不同施肥管理措施对土壤养分、冬小麦产量和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1167-1174.
- [19] 刘义国,林琪,王月福,等. 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.
- [20] 串丽敏,何萍,赵同科,等. 中国小麦季氮素养分循环与平衡特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 76-86.
- [21] 张磊,邵宇航,谷世禄,等. 减量施氮下基肥后移对南

- 方冬小麦产量和氮素利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3953–3960.
- [22] 王金金, 刘小利, 刘佩, 等. 秸秆还田条件下减施氮肥对旱地冬小麦水氮利用、光合及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(2): 210–219.
- [23] 陆晓松, 于东升, 徐志超, 等. 土壤肥力质量与施氮量对小麦氮肥利用效率的综合定量关系研究[J]. 土壤学报, 2019, 56(2): 487–494.
- [24] 张爱平, 杨世琦, 杨淑静, 等. 不同供氮水平对春小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 137–142.
- [25] 孙雪原, 季雅岚, 吴文革, 等. 不同氮肥运筹对江淮南部分稻茬小麦产量及氮肥利用的影响[J]. 耕作与栽培, 2020, 40(4): 1–4, 7.
- [26] 高日平, 赵沛义, 韩云飞, 等. 秸秆还田与氮肥运筹对土壤水碳氮耦合及作物产量的影响[J]. 土壤, 2021, 53(5): 952–960.
- [27] 张叶叶, 莫非, 韩娟, 等. 秸秆还田下土壤有机质激发效应研究进展[J]. 土壤学报, 2021, 58(6): 1381–1392.
- [28] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 998–1005.