

秸秆还田与施氮量耦合对冬小麦产量和养分吸收的影响^①

苗 峰^{1,2}, 赵炳梓^{2*}, 陈金林¹

(1 南京林业大学森林资源与环境科学学院, 南京 210037;

2 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)

摘 要: 通过田间试验, 比较研究了秸秆还田和还不还田条件下氮肥施用量对我国黄淮海平原典型农区冬小麦籽粒产量、产量构成因素、养分吸收过程及土壤速效养分的影响, 目的是为了挖掘不同耦合条件下的小麦产量形成机理。结果表明相同施肥条件下, 秸秆还田有增加冬小麦籽粒产量的趋势, 但只有在施氮量为 150 和 200 kg/hm² 时, 其差异达显著水平; 当不施肥或施氮量为 250 kg/hm² 时, 差异不显著, 总体来说, 秸秆还田的增产率为 6.34% ~ 12.17%, 这可能主要由于秸秆还田提高了籽粒千粒重所致, 也可能与秸秆还田增加了冬小麦拔节-抽穗期地上部生物量氮素吸收量有关。同时, 秸秆还田配施氮肥还提高了土壤碱解氮和速效钾含量, 为作物养分吸收提供了肥力基础。与不施肥相比, 单纯施肥导致的籽粒产量增加主要由于增加单位面积小麦穗数所致, 但不同施肥量之间籽粒产量没有显著性差异, 表明当地常规施肥习惯有一定节肥潜力。

关键词: 秸秆还田; 施氮量; 产量; 氮素吸收; 土壤养分

中图分类号: S154.4

目前, 我国农业生产中主要依靠提高化肥用量促使作物增产, 但由于盲目施肥与不合理施肥方式, 造成土壤结构恶化, 土壤肥力下降, 降低了化肥利用效率, 影响作物经济效益^[1-2]。而农作物秸秆, 作为一种含有氮、磷、钾等营养元素的重要可再生资源, 由于目前无较好的利用途径而被大量地浪费^[3]。随着作物秸秆还田技术的推广与应用, 秸秆还田对土壤环境与性质的改良作用也得到人们越来越多的重视, 因此在秸秆还田的基础上配施化肥, 成了现代农业发展的新趋势。研究表明相对于单施化肥或单施秸秆, 秸秆还田配施化肥明显提高了作物产量与肥料利用率^[4-6], 增加了土壤活性有机质^[7-8], 以及土壤速效养分含量^[9-10], 对土壤酶的活性也有明显的增加作用^[11-12]。但关于秸秆还田与不同施氮量耦合对作物产量和养分吸收的影响的报道则较少。

黄淮海平原是我国主要粮食产地, 主产区土壤往往质地较轻、肥力低下, 近几年来当地政府一直强调用秸秆还田方法提升土壤肥力。本文于黄淮海平原地区典型农田进行田间小区试验, 结合当地作物种植模式和化肥施用习惯, 研究了该地区秸秆还田下不同施氮量对冬小麦产量和养分吸收及土壤速效养分的影响, 以期为该地区秸秆与氮肥的合理配施、秸秆还田对作物产量以及土壤肥力的改良作用以及农业推广提供科学依据。

1 试验设计与方法

1.1 田间试验设计

田间试验位于河南省封丘县潘店村, 该县位于河南北部, 属于北暖温带半干旱型季风气候区, 年平均气温为 13.9℃, 年降雨量 615.1 mm。当地种植制度为冬小麦-夏玉米轮作, 它们的生长季分别为当年 10 月中旬至翌年 5 月底和 6 月初至 9 月底。当地土壤为典型潮土, 根据中国土壤系统分类检索, 潮土属于干润冲积新成土, 为当地典型土壤。

田间试验开始于 2008 年 10 月, 即当地小麦开始播种时段。试验开始前表层土 pH 值 7.86, 有机质 15.02 g/kg, 全氮 0.8 g/kg, 速效磷 22.21 mg/kg, 速效钾 153 mg/kg。土壤剖面质地: 0 ~ 60 cm 土层为砂质壤土; 60 ~ 90 cm 土层为黏土; >90 cm 土层为砂土。试验包括 8 个处理, 每个处理 3 重复, 共 24 个小区, 每个小区面积为 8 m × 5.5 m = 44 m², 小区之间用 1 m 宽的垄沟相隔, 以防肥料相互影响。8 个处理主要包

①基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2011CB100506) 和中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX2-EW-N-08, ISSASIP1118) 资助。

* 通讯作者 (bzhao@issas.ac.cn)

作者简介: 苗峰 (1985—), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源环境方面的研究。E-mail: miaofengch@163.com

括秸秆移除下的 4 个氮肥施用水平和秸秆还田下的 4 个氮肥施用水平, 它们的氮肥施用递减梯度均为 250、200、150、0 kg/hm²。肥料施用方式与当地农民一致, 秸秆移除和秸秆还田处理分别将上季作物秸秆完全移出农地或用秸秆还田机粉碎后覆盖地表, 在秸秆移除或覆盖后施用基肥, 一般磷肥 (用过磷酸钙) 和钾肥 (硫酸钾) 均以基肥形式加入, 60% 的氮肥 (尿素) 以基肥形式施入, 其余 40% 在翌年返青拔节期追加。

2009—2010 年度的试验用冬小麦品种为矮抗 58, 播种量为 202.4 kg/hm²。本试验土壤和植物样品采集自 2009—2010 年度的冬小麦生长季 (即田间试验建立一年后), 分别于冬小麦分蘖期 (2010-01-12)、拔节期 (2010-03-24)、抽穗期 (2010-05-06)、成熟期 (2010-06-10) 在每个小区内沿 “S” 形路线随机选取 5 点, 用不锈钢土钻采 0~20 cm 表层土样并取 10 cm 长植物样品。将土样充分混匀, 制成混合样品, 带回室内除杂、风干后, 过 20 目孔筛备用。植物鲜样在 105℃ 下杀青 15 min, 在 80℃ 下烘至恒重称量并计算干物质积累量, 磨碎备用。

1.2 测定项目与方法

土壤碱解氮用扩散法测定, 速效磷用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定, 速效钾用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度法测定。植物样品全量测定采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 用奈氏比色法测定全氮。以上所有实验方法均采用常规分析方法^[13]。2010 年 6 月底小麦成熟后各小区分别收获并考种, 监测不同处理的小麦产量及其形成要素。籽粒产量及其千粒重用烘干重表示, 所有结果均为 3 个重复的平均值。

1.3 计算方法及数据处理

氮肥表观利用率 (%) = (地上部分吸氮量 - 不施肥地上部分吸氮量) / 施肥量 × 100%。

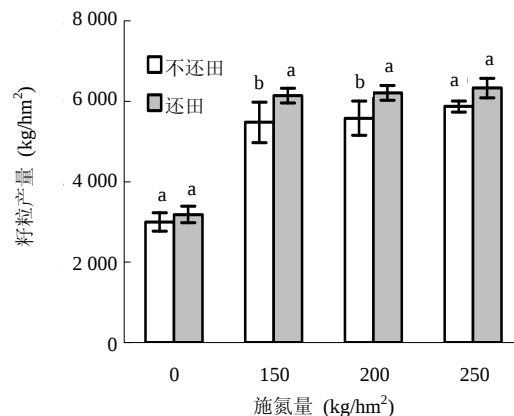
试验数据采用 SPSS16.0 软件进行不同处理间差异性分析, 用 Microsoft Excel 2003 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 小麦籽粒产量及其构成因素

无论是否施肥, 在相同肥料用量条件下, 秸秆还田有增加小麦籽粒产量的趋势, 尽管在不施肥和施肥量为 250 kg/hm² 时, 秸秆不还田和还田处理间没有显著性差异, 但当施肥量为 150 和 200 kg/hm² 时, 其差异达显著性水平 (图 1)。总体来说, 与单纯施用氮肥相比, 秸秆还田可增加小麦籽粒产量 6.34%~12.17%。

图 1 同时表示, 施肥显著提升小麦籽粒产量, 但无论秸秆不还田或还田, 3 个施肥梯度均没有导致产量的显著性差异, 说明在现有肥力水平下, 当地小麦季有 20%~40% 的节肥潜力, 因为当地农民的通常施氮量均在 200~250 kg/hm² 间。



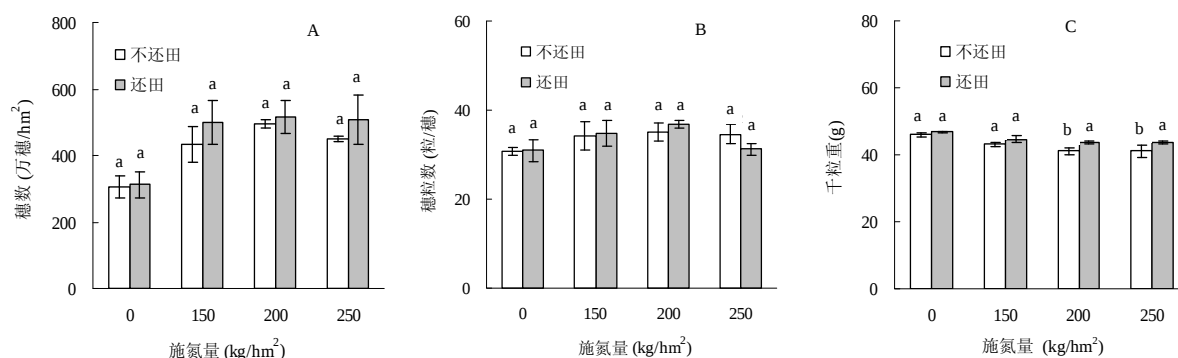
(同一施氮量下显著性检验字母不同表示秸秆还田和不还田处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 法), 下同)

图 1 秸秆还田和不同施氮量对小麦籽粒产量的影响

Fig. 1 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on grain yield

小麦单位面积籽粒产量水平主要取决于单位面积穗数、穗粒数及籽粒千粒重。图 2 表示, 在相同施氮量条件下, 秸秆还田有提升单位面积穗数 (图 2A) 和穗粒数 (图 2B) 的趋势 (施氮量 250 kg/hm² 时的穗粒数除外), 但差异均没有达显著性水平; 当施氮量为 200 或 250 kg/hm² 时, 秸秆还田显著提升小麦籽粒千粒重 (图 2C)。上述结果表明, 秸秆还田导致千粒重的显著提高可能是引起施氮量 200 kg/hm² 时小麦籽粒产量增加的主要因素之一 (图 1, 2)。刘国义等^[14]报道表示秸秆还田配施氮肥能明显改善冬小麦的光合性能, 提高小麦千粒重, 进而提高小麦产量。

与不施任何氮肥的对照相比, 不管是否秸秆还田, 氮肥施用显著增加了小麦单位面积穗数, 但不同施用量之间差异不显著 (图 2A); 施用氮肥对小麦穗粒数形成没有显著影响 (图 2B), 但随着氮肥施用, 籽粒千粒重有降低趋势 (图 2C)。该结果表明, 施氮肥导致的小麦产量显著增加主要由于单位面积小麦穗数的显著增加而引起的 (图 1, 2), 结果同时也显示, 氮肥施用对小麦分蘖和 (或) 成穗率的重要性。张定一等^[15]报道表明, 施氮使小麦穗数增加, 且成穗数对产



(A, 单位面积穗数; B, 穗粒数; C, 千粒重)

图2 秸秆还田和不同施氮量对冬小麦籽粒产量构成因素的影响

Fig. 2 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on yield components

量贡献最大。王长年等^[16]报道也表示, 小麦成穗数与施氮量呈极显著的正相关。

2.2 氮素利用率及不同生育期地上部氮素吸收

不同施氮量下秸秆还田对氮肥表观利用率没有显著影响, 尽管当施氮量为 200 和 250 kg/hm² 时, 秸秆还田后氮肥表观利用率有提升的趋势, 但没有达到差异显著水平 (图 3); 这似乎与 150 和 200 kg/hm² 时秸秆还田对籽粒产量的显著提升作用 (图 1) 相矛盾, 主要由于该施肥条件下秸秆还田导致小麦收获指数 (籽粒产量与总生物量比值, 具体数据没有在此列出) 显著增加所致。

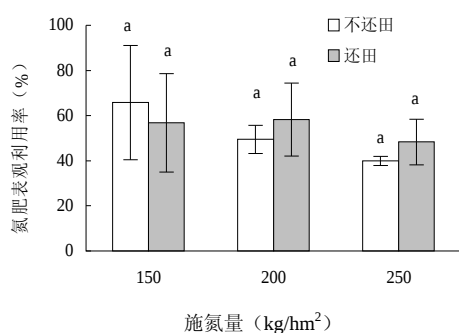


图3 秸秆还田和不同施氮量对小麦氮肥表观利用率的影响

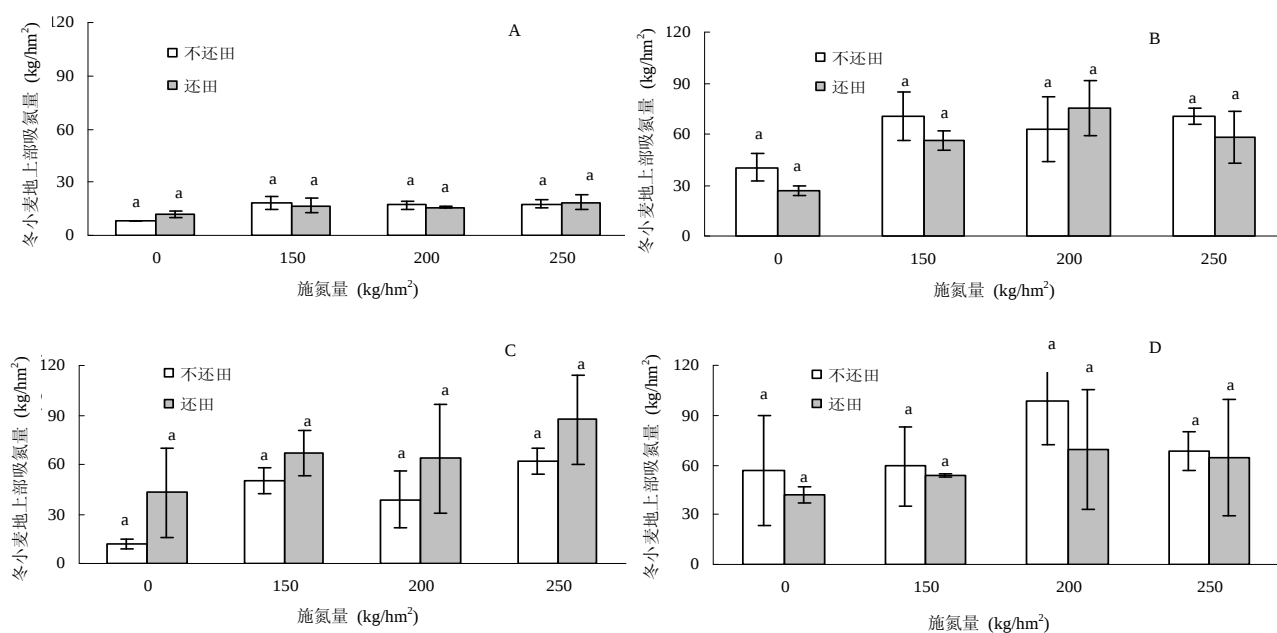
Fig. 3 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on nitrogen apparent recovery efficiency

通过比较生长季内 4 个不同生育期的小麦地上部生物量氮素吸收量的结果变化后发现 (图 4), 在相同氮肥施用量条件下, 每个生育期内氮素吸收总量在秸秆还田和不还田处理间没有显著性差异。但拔节-抽穗期和抽穗-成熟期比较特别, 尽管相同施肥量时秸秆还田与不还田处理间没有显著性差异 (图 4C, 4D), 但

拔节-抽穗期总体趋势为还田处理的氮素吸收总量高于不还田处理 (图 4C), 这可能是造成秸秆还田处理小麦籽粒产量高于不还田处理的主要因素之一, 尽管不是所有差异均呈显著水平 (图 1)。冬小麦抽穗期, 植株吸氮量与籽粒产量呈极显著正相关^[17], 此期间作物吸氮量的增加为作物产量的提高奠定了物质基础。相反, 抽穗-成熟期总体趋势为还田处理均低于不还田处理 (图 4D), 说明秸秆还田配施氮肥在作物生长后期氮素供应不足。姜丽娜等^[18]报道表明, 在总氮量相同条件下, 后期进行适量的叶面喷肥, 可增强后期植株的吸氮能力, 提高籽粒中氮的含量, 显著增加产量。可见, 此阶段作物需肥要求仍然旺盛, 追肥量与追肥方式有待于进一步研究。

与不施任何氮肥的对照相比, 在分蘖期和分蘖-拔节期, 无论是否秸秆还田, 施用氮肥均有显著增加小麦地上部氮素吸收的趋势, 但不同施氮量间差异不显著 (图 4A, 4B), 这可能主要与施肥增加小麦分蘖数有关。申玉香等^[19]研究结果表示, 随着氮肥用量的增加, 分蘖数呈增加趋势, 且与施氮量之间呈显著正相关关系。

总体来说, 随着小麦生育阶段进展, 其吸氮量呈提升趋势。其中抽穗-成熟期吸氮量最高, 其次为分蘖-拔节和拔节-抽穗期, 而分蘖期的吸氮量最低。上述结果同时表示, 小麦氮肥吸收的旺盛时期为抽穗-成熟和分蘖-拔节期, 其中分蘖-拔节期的吸氮量可能主要发生在返青-拔节期, 因为分蘖-返青期小麦刚好为越冬时间, 此时气温低, 小麦处于休眠阶段, 对养分的需求非常有限; 随着返青期气温升高, 小麦生长迅速复苏, 对养分的需求快速增加; 抽穗-成熟期是小麦营养生长和生殖生长的高峰期, 为产量形成关键时期,



(A, 分蘖期; B, 分蘖-拔节期; C, 拔节-抽穗期; D, 抽穗-成熟期)

图 4 秸秆还田和不同施氮量对冬小麦各生育期地上部生物量氮素吸收的影响

Fig. 4 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on nitrogen uptake of above-ground biomass at different growth stages

再加上气温高,作物生长速率为全生育期最高时期,常规施肥习惯不一致,当地小麦施肥一般为磷钾肥均作为基肥一次性施入;占施用总量 60% 的氮肥为播种前作为基肥施入,40% 在返青期追施。当不考虑人力投入的情况下,本文结果表明当地小麦的施氮量可适当调整为:施用总量的 30% 为基肥、30% 在返青期追施、另外 40% 在抽穗前的拔节期追施,该施肥模式与小麦需肥规律更加一致,可望为提高氮肥利用率、提升作物产量、降低环境污染提供一定贡献。

2.3 秸秆还田对冬小麦不同生育期土壤速效养分的影响

2.3.1 秸秆还田对冬小麦不同生育期土壤碱解氮的影响 图 5 表示,在相同氮肥施用量条件下,在监测的 4 个生育期内,秸秆还田均有增加土壤碱解氮的趋势,表明秸秆还田有增加潜在养分供应的可能。

当秸秆不还田时,与不施任何肥料的对照相比,施肥显著增加分蘖和分蘖-拔节期的碱解氮含量,但施肥量之间没有显著性差异(图 5A, 5B);而在其他生育阶段施肥与不施肥之间的差异不显著(图 5C, 5D)。但秸秆还田后,施氮量为 250 kg/hm² 的碱解氮含量往往极显著高于其他所有处理组合,说明秸秆还田配施氮肥可增加土壤碱解氮含量,本试验条件下当施氮量为 250 kg/hm² 时,即可达差异显著水平。由此可见,

秸秆还田下配施不同量氮肥有可能增加土壤碱解氮含量,其增加效果与施氮量不同有关,可为作物养分吸收提供肥力基础。

2.3.2 秸秆还田对冬小麦不同生育期土壤速效磷的影响 由图 6 可知,冬小麦各生育期,各施肥处理土壤速效磷含量均大于对照不施肥。同等施肥量条件下,大部分情况各生育期秸秆还田后土壤速效磷含量均低于秸秆不还田处理,但有的情况差异显著,有的情况不显著。这与付丽波等^[20]报道结果一致,他们表示秸秆还田后土壤对磷的固定作用加强,导致其含量降低。孙星等^[21]报道表明,秸秆还田降低了土壤速效磷含量,但是增加了土壤磷的有效性,促进作物对土壤速效磷的吸收。本研究认为秸秆还田后土壤速效磷的降低可能是由于秸秆还田增加了该地区土壤 Ca、Mg 等的活性,进而增加了其对土壤磷的固定,具体原理有待进一步研究。

2.3.3 秸秆还田对冬小麦不同生育期土壤速效钾的影响 小麦-玉米轮作期间土壤钾素消耗量较大,速效钾是作物吸收钾的重要来源。由图 7 可知,冬小麦各生育期,各施肥处理土壤速效钾含量均大于对照不施肥。同量施肥条件下,秸秆还田后土壤速效钾含量均高于秸秆不还田。无论秸秆不还田或还田,3 个施肥梯度土壤速效钾含量均没有显著性差异。李全起等

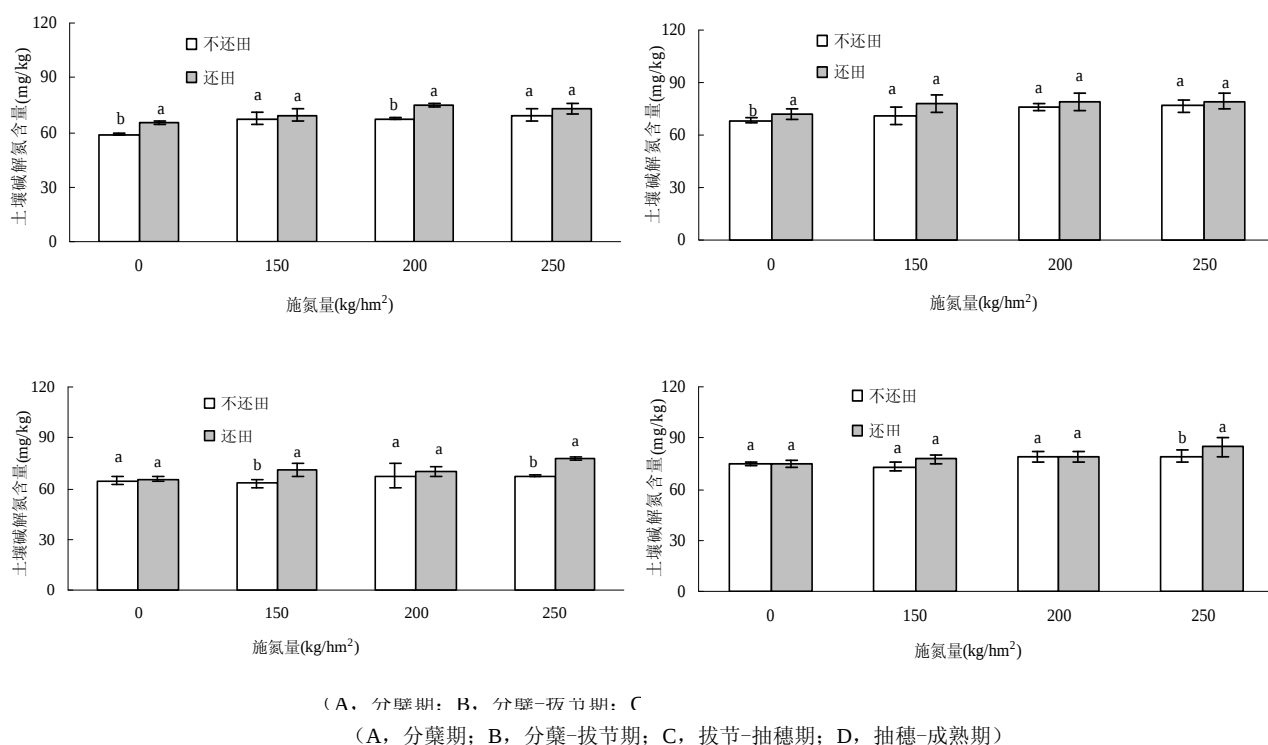


图5 秸秆还田和不同施氮量对冬小麦各生育期土壤碱解氮的影响

Fig. 5 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on alkali-hydro nitrogen in soils at different growth stages

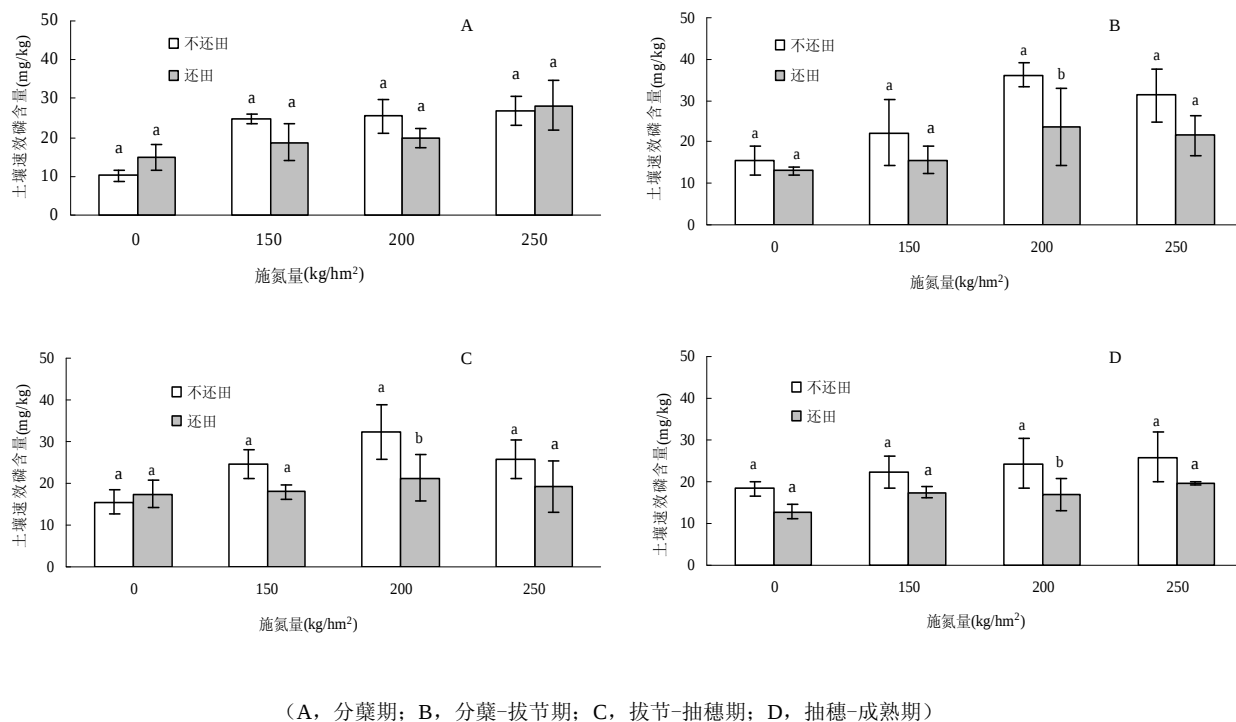
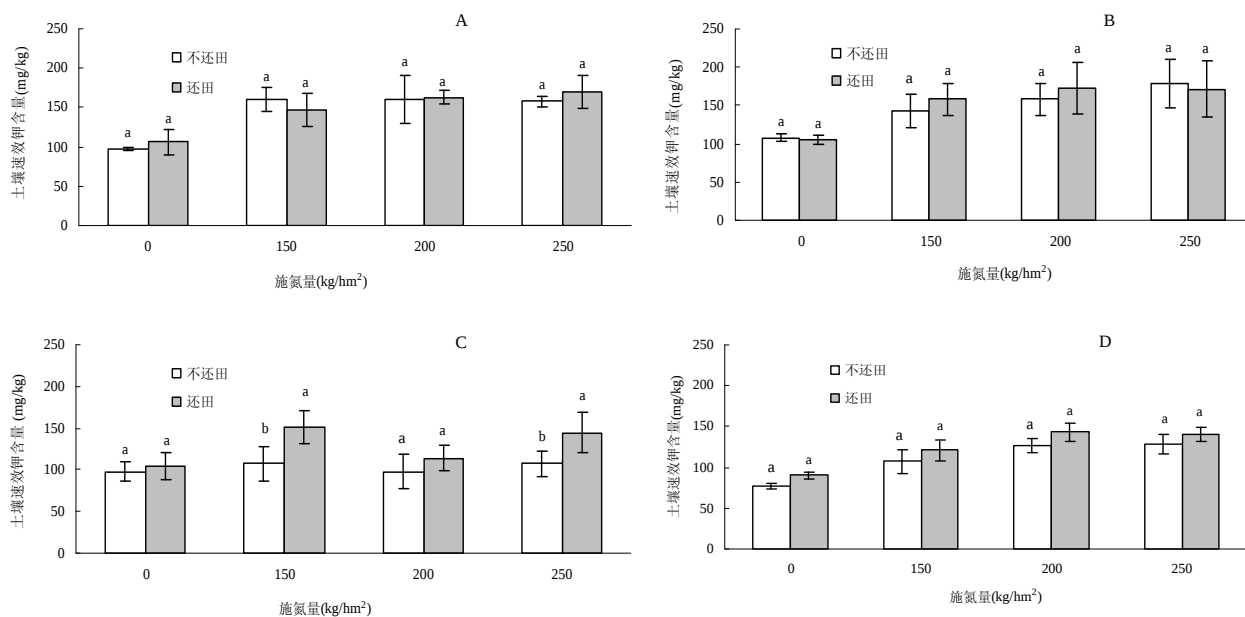


图6 秸秆还田和不同施氮量对冬小麦各生育期土壤速效磷的影响

Fig. 6 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on available phosphorus in soils at different growth stages



(A, 分蘖期; B, 分蘖-拔节期; C, 拔节-抽穗期; D, 抽穗-成熟期)

图 7 秸秆还田和不同施氮量对冬小麦各生育期土壤速效钾的影响

Fig. 7 Interactive effects of mulching and nitrogen application rates on available potassium in soils at different growth stages

[22]报道表示秸秆还田可明显提高耕层内速效钾的含量。邢素丽等[23]报道也表示平衡施肥配施秸秆能显著增加土壤速效钾含量。由此可见, 秸秆还田可增加土壤速效钾的含量, 提高作物可利用的土壤钾的含量。

3 结论

(1) 本试验条件下, 施用氮肥显著增加小麦籽粒产量, 主要由于单位面积小麦穗数的显著增加引起; 而在氮肥施用的基础上秸秆还田有进一步增加小麦籽粒产量的趋势, 这主要是由于籽粒千粒重的显著提高导致。

(2) 秸秆还田后拔节-抽穗期冬小麦地上部生物量的吸氮量明显增加, 为籽粒产量的提升提供了良好的物质基础。

(3) 秸秆还田下配施不同量氮肥提高了土壤碱解氮和速效钾含量, 为作物增产提供了肥力基础, 但秸秆还田后土壤速效磷含量的降低效应尚有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘冬梅. 浅谈当前施肥中存在的问题. 青海农林科技, 2003(1): 231
- [2] Bronick CJ, Lal R. Soil structure and management. Geoderma,

2005, 124(1/2): 3-22

- [3] 周凤起. 中国可再生能源发展战略. 浙江能源, 2005 (6): 6-9
- [4] Anthony W, Graeme B, Yothin K, Rod L, Kunnika N. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 100: 251-263
- [5] Agustin LO, Bram G, Kenneth DS. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. European Journal of Agronomy, 2008, 29: 21-28
- [6] 吴婕, 朱钟麟, 郑家国, 姜心禄. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响. 西南农业学报, 2006, 19(2): 192-195
- [7] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响. 土壤, 2008, 40(3): 407-411
- [8] 王海景, 康海东. 秸秆还田对土壤有机质含量的影响. 山西农业科学, 2009, 37(10): 42-45
- [9] 孙伟红, 苏秀容, 董玉良, 毕建杰. 小麦-玉米轮作体系中秸秆还田对产量及土壤钾素肥力的影响. 作物杂志, 2004(4): 13-16
- [10] 周波, 刘登民, 苏秀容, 聂俊华, 孙伟红. 长期秸秆还田及休闲处理对土壤肥力的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16 015-16 019

- [11] 刘骅, 林英华, 王西和, 谭新霞, 张云舒. 长期配施秸秆对灰漠土质量的影响. 生态环境, 2007, 16(5): 1 492-1 497
- [12] 李春霞, 陈阜, 王俊忠, 李友军, 付国占, 陈明灿. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响. 河南农业科学, 2006(11): 67-70
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [14] 刘国义, 林琪, 王月福, 郭家选, 刘洪军. 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. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 42-44
- [15] 张定一, 党建友, 王姣爱, 斐雪霞, 杨武德, 苗果园. 施肥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. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 535-542
- [16] 王长年, 苏仕华, 成英, 卢红. 不同氮肥用量对小麦产量和品质的影响. 现代农业科技, 2007(12): 99-101
- [17] 阳显斌, 张锡洲, 李廷轩, 余海英, 吴德勇. 不同产量水平小麦的氮吸收利用差异. 核农学报, 2010, 24(5): 1073-1079
- [18] 姜丽娜, 李春喜, 代西梅, 尚玉磊, 吴勇. 超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究. 麦类作物学报, 2000, 20(2): 53-59
- [19] 申玉香, 栾文婷. 氮素水平对小麦幼苗性状和营养元素含量的影响. 中国农学通报, 2009, 25(24): 196-199
- [20] 付丽波, 王毅, 翟兴, 左天龙, 崔永和, 耿明建, 洪丽芳. 秸秆和氮肥配合施用对高肥力植烟土壤理化性质的影响. 华中农业大学学报, 2004, 23(3): 295-299
- [21] 孙星, 刘勤, 王德建, 张斌. 长期秸秆还田对剖面土壤肥力质量的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 587-592
- [22] 李全起, 陈如海, 于舜章, 吴魏, 周勋波, 董庆裕, 余松烈. 覆盖与灌溉条件下农田耕层土壤养分含量的动态变化. 水土保持学报, 2006, 20(1): 37-40
- [23] 邢素丽, 韩宝文. 华北平原小麦-玉米两熟作物区土壤培肥途径研究. 土壤通报, 2007, 38(5): 1013-1015

Effects of Straw-return Coupled with Nitrogen Fertilizer Application on Winter Wheat Yield and Nutrient Absorption

MIAO Feng^{1,2}, ZHAO Bing-zi², CHEN Jin-lin¹

(1 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

Abstract: The objective of this research was to discover the formation mechanism of wheat production through study the impact of straw-return and fertilizer-N application on grain yield, yield components and nutrient absorption of winter wheat, and soil nutrient availability in Huang-huai-hai plain's cropland. The results showed that under the same fertilization conditions, the way of straw-return had the trend of increasing the production of winter wheat, but the effect was only significant in the fertilizer-N application of 150 and 200 kg/hm²; Generally, straw-return can raise the production by the rate of 6.34%-12.17%. It was mainly because straw-return increased 1000-kernel weight; and it may be also related to the reason that straw-return increased the aboveground nitrogen absorption of winter wheat in the time of jointing-heading. Meanwhile, straw-return with nitrogen fertilizer increased the contents of soil alkali-hydro nitrogen and rapidly-available potassium, which provided fertility foundation for crop nutrient uptake. Compared with no nitrogen fertilizer, rising grain yield by application of fertilizer mainly was due to the increase of panicles per unit area, but grain productions under the different applications of nitrogen fertilizer had no significant difference, which indicated that the local conventional application of nitrogen fertilizer was in part a potential way of saving fertilizer.

Key words: Straw-return, Nitrogen fertilizer application, Yield, N uptake, Soil nutrient