

华东地区小麦缓控释配方肥技术研究

孙 婷¹, 马宏卫^{2*}, 王孟兰¹, 张 媛¹

(1 南京市江宁区耕地质量保护站, 南京 211100; 2 南京市耕地质量保护站, 南京 210036)

摘要: 根据土壤肥力水平和前期研究, 设计了华东地区小麦缓控释配方肥, 研究了该配方肥对小麦产量、土壤养分平衡和肥料利用率的影响。结果表明: 缓控释配方肥能在较常规施肥减氮 12.5%、减磷 10%、减钾 6.7% 以及一次性施用的情况下, 确保小麦的稳产, 提高氮肥表观利用率 6.2%, 且将氮肥的偏生产力提高 20.4%, 同时维持土壤的养分含量。配方施肥的施氮量、施磷量超过了植株的需求, 盈余 50% 左右, 施钾量低于作物吸钾量, 土壤钾素平衡为亏缺状态。因此, 建议华东地区小麦缓控释配方肥的氮肥用量可降低 10%~15%, 磷肥用量可降低 20%~30%, 钾肥用量应提高 10% 左右, 即配方肥的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O) 肥推荐用量分别为 180~190、80~90 和 90~100 kg/hm²。

关键词: 小麦; 缓控释; 配方肥; 土壤养分平衡; 肥料利用率

中图分类号: S147.2 **文献标识码:** A

随着我国传统农业的精耕细作、松土保墒、间作套种等田间管理模式的逐渐消失, 作物增产主要依赖化肥的投入, 导致过量施用化肥现象普遍, 肥料利用率偏低, 报酬逐年递减^[1]。20 世纪 60 年代每千克化肥增产粮食 21.0 kg, 70 年代为 8.8 kg, 80—90 年代中期已经降到 6.3 kg^[2]。化肥增产作用降低的主要原因在于化肥的利用率降低, 损失率升高。肥料的损失不仅是肥料资源的浪费, 更为人类的生存环境和生态环境带来了不良的后果^[3]。因此, 当前我国农业生产的重要挑战是如何优化施肥以提高肥料的利用率及降低环境污染。

小麦是我国的三大粮食作物之一, 同时也是经济效益相对较低的作物。目前小麦的施肥模式主要是少量氮肥和全部的磷、钾肥作基肥, 大部分氮肥作追肥, 追肥方法为撒施于土壤表面^[4]。近年来, 随着农村劳动力向城市转移, 尤其是经济较发达的华东地区, 多次施肥技术在小麦上已难于实行。常用的速效肥料养分释放速度快, 肥效期短, 一次施用无法满足作物整个生长阶段的养分需求, 损失过大, 肥料利用率低, 其中氮素表现尤为突出, 如果将其全部作基肥一次性施用后, 易造成后期供氮不足, 成穗率低, 影响产量^[5]。

缓/控释肥养分释放缓慢, 延续时间长, 能够有效地减少土壤氮素的淋失, 提高氮肥利用率, 因此成为新型肥料的研究热点^[6]。研究表明控释肥可以在小

麦生长的拔节、抽穗、灌浆期为其供应充足的养分, 可有效提高小麦的产量^[7-10], 同时提高肥料的偏生产力, 减少土壤硝酸盐残留和 N₂O 排放^[11]。

但是目前国内对缓控释肥料在小麦上的施用效果研究主要集中在北方冬小麦上, 而对于华东地区冬小麦的适用性却不清楚。华东地区降雨量相对较大, 养分更容易通过挥发和径流而损失, 控释肥在华东地区小麦种植过程中可以更好地减少养分损失。此外在小麦的肥效试验中, 施肥量大都按照当地农民的常规施肥量确定, 很少使用目标产量和养分平衡法估算得到推荐施肥量。为此, 本研究在土壤测试和肥料效果试验基础上初步确定南方小麦的控释掺混肥配方, 为我国华东地区小麦缓控释配方肥的大面积推广应用提供有效的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验点位于南京市江宁区淳化街道, 供试土壤为黄棕壤, 耕层土壤 (0~20 cm) 的基础性质见表 1。

1.2 试验设计

采用小区试验, 每个小区 36 m² (6 m × 6 m)。设置常规施肥 (farmers' fertilization, FF), 常规施肥不施氮肥 (FF-N)、不施磷肥 (FF-P) 和不施钾肥 (FF-K) 处理, 同时设置配方施肥 (30% 缓释肥) (recommended

* 通讯作者 (mahw18@163.com)

作者简介: 孙婷 (1977—), 女, 江苏江宁人, 大学本科, 高级农艺师, 主要从事科学施肥技术推广。E-mail: 1123396719@qq.com

fertilization, RF)、配方施肥不施氮肥 (RF-N)、配方施肥不施磷肥(RF-P)、配方施肥不施钾肥(RF-K)处理,共 8 个处理(表 2),每个处理重复 3 次,共计 24 个小区,随机区组设计。常规施肥处理氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O) 肥用量根据调研获得的当地农民习惯施肥水平确定,氮肥分基肥和追肥两次施肥,其中基肥为 180 kg/hm²(75%),拔节期追肥 60 kg/hm²

(25%),磷、钾肥做基肥一次性施入。配方施肥处理的施肥量根据目标产量和养分平衡法估算,氮肥用量 210 kg/hm²,其中缓释氮肥 63 kg/hm²(30%),全部肥料一次性做基肥施入。所用肥料为尿素(含 N 460 g/kg)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 160 g/kg)、硫酸钾(含 K₂O 520 g/kg),缓释氮肥(控释期 3 个月)由江苏艾萨斯新型肥料工程技术有限公司提供。

表 1 供试土壤基础肥力
Table 1 Basal fertility of tested soil

pH	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
6.15	1.13	0.638	8.580	11.65	59.97	19.80	142.5

表 2 试验处理氮磷钾用量(kg/hm²)
Table 2 Formula composition of fertilization application

处理	FF	FF-N	FF-P	FF-K	RF	RF-N	RF-P	RF-K
N	240	0	240	240	210	0	210	210
P ₂ O ₅	120	120	0	120	108	108	0	108
K ₂ O	112.5	112.5	112.5	0	105	105	105	0

注:FF:常规施肥,FF-N:常规不施氮,FF-P:常规不施磷,FF-K:常规不施钾,RF:配方施肥,RF-N:配方施肥不施氮,RF-P:配方施肥不施磷,RF-K:配方施肥不施钾;下同。

1.3 采样与分析

分小区收割小麦并测产,每个小区均划定 1 m² 取样区,带回实验室脱粒。脱粒后籽粒与秸秆分别在 80 °C 烘箱中烘至恒重,计算含水量并测千粒重。样品粉碎后分别测定籽粒和秸秆的氮、磷和钾的含量,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,凯氏法测定氮素含量,钼锑抗比色法测定磷素含量,火焰光度法测定钾素含量。

采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤,风干后磨碎分别过筛备用。土壤全氮采用凯氏法,全磷采用酸溶-钼锑抗比色法,全钾采用高氯酸消煮法,有效磷采用碳酸氢钠提取比色法,速效钾采用乙酸铵提取火焰光度法,碱解氮采取碱解扩散法测定^[12]。

1.4 统计分析

土壤氮(磷、钾)素盈余=施氮(磷、钾)量-作物收获氮(磷、钾)量;小麦的肥料利用率:偏生产力 PFP (kg/kg) = Y_f/R_f ; 农学效率 AE (kg/kg) = $(Y_f - Y_0)/R_f$; 肥料表观利用率 RE (%) = $(U_f - U_0)/R_f$ 。式中:Y_f 和 Y₀ 分别为施氮(磷或钾)和不施氮(磷或钾)的作物籽粒产量;U_f 和 U₀ 分别为施氮(磷或钾)和不施氮(磷或钾)的作物地上部养分吸收量;R_f 为氮(磷或钾)肥用量^[13]。

试验所有数据采用 Excel 和 SPSS18 进行统计分析。

2 结果与分析

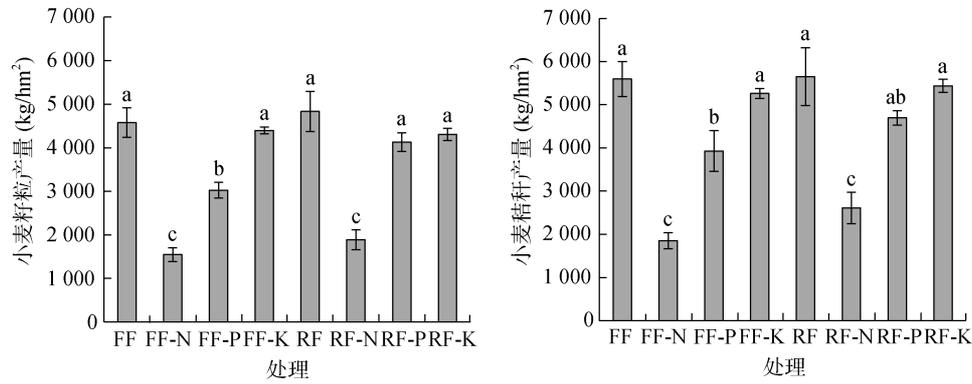
2.1 不同施肥处理的小麦产量

不施氮肥处理的小麦籽粒产量显著低于施氮肥的各处理(图 1)。对于常规施肥的 4 个处理,FF-N 处理的小麦产量只有 1 546 kg/hm²,仅是 FF 处理产量的 33.8%,显著低于另外 3 个处理;FF-P 处理的产量是 FF 处理的 66.1%,也显著低于 FF 和 FF-K 处理;FF-K 处理的小麦产量为 FF 处理的 96.1%,两处理间无显著差异。配方施肥的 4 个处理中,RF-N 处理也同样显著降低了小麦的产量,另 3 个处理间产量无显著差异。RF 处理的小麦产量为 FF 处理的 106%,两者的产量无显著差异。不同施肥处理下小麦的秸秆产量同籽粒产量趋势一致。

小麦的千粒重等产量指标显示,FF-N 处理显著地降低了小麦的千粒重、每穗粒数和株高,每穗粒数和株高降低幅度大,比 FF 处理每穗粒数降低了 50%,株高降低了约 40%(表 3)。这 3 个指标在 FF 和 RF 处理间无显著差异。由此可见,试验区土壤钾素充足,土壤磷素处于中等水平,氮肥则是该试验区小麦生产的主要限制因素。

2.2 不同施肥处理的小麦氮、磷、钾素吸收及盈余

不施氮处理的小麦植株收获移走的氮、磷和钾显著低于其他各处理,不施氮不仅大幅度影响了植株对



(图中不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著, 下图同)

图 1 不同施肥处理的小麦产量

Fig. 1 Wheat yields under different fertilization

表 3 不同施肥处理小麦的产量构成
Table 3 Effects of different fertilization on yield components of wheat

处理	株高 (cm)	千粒重(g)	每穗粒数
FF	74.5 ± 1.3 a	35.5 ± 0.8 ab	37.2 ± 1.9 ab
FF-N	47.5 ± 1.8 b	30.2 ± 0.3 c	18.4 ± 3.0 c
FF-P	76.3 ± 1.5 a	36.0 ± 0.1 a	33.4 ± 0.9 b
FF-K	75.5 ± 1.3 a	34.9 ± 1.0 ab	36.6 ± 1.0 ab
RF	76.2 ± 1.1 a	37.4 ± 2.2 a	38.9 ± 0.8 a
RF-N	44.8 ± 2.0 b	32.5 ± 0.3 bc	19.6 ± 1.2 c
RF-P	74.9 ± 1.2 a	38.9 ± 1.2 a	34.4 ± 1.7 a
RF-K	74.0 ± 3.0 a	38.2 ± 0.5 a	36.0 ± 2.9 a

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同列不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著;下同。

氮的吸收,也显著影响了对磷和钾的吸收(表 4)。不

施磷显著降低了小麦植株对磷的吸收,但对氮和钾的吸收影响不显著。不施钾没有显著影响小麦地上部对钾、氮、磷的积累量。两种施肥配方中,不施氮、磷或钾处理的小麦地上部吸氮量、吸磷量和吸钾量分别代表土壤氮、磷和钾素的供应能力,分别为 29.3 ~ 35.0、28.8 ~ 38.3、89.1 ~ 91.8 kg/hm²。

FF 和 RF 处理施氮量分别为 240 kg/hm² 和 210 kg/hm²,作物带走的氮量分别为 110.6 kg/hm² 和 119.3 kg/hm²,土壤氮素盈余 50% 左右;施磷量分别为 120 kg/hm² 和 108 kg/hm²,对应的土壤磷素盈余分别为 69.7 kg/hm² 和 52.3 kg/hm²,盈余近 50%;施钾量分别为 112.5 kg/hm² 和 105 kg/hm²,对应的土壤钾素盈余分别为 -11.1 kg/hm² 和 -17.7 kg/hm²,表明植株带走的钾素高于施入的钾素(表 4)。

表 4 不同施肥处理下土壤的氮、磷和钾养分平衡
Table 4 Soil nutrient balances under different fertilization treatments

处理	作物收获 N	N 素盈余	作物收获 P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ 盈余	作物收获 K ₂ O	K ₂ O 盈余
FF	110.6 ± 15.3 ab	129.4 ± 15.3 ab	50.3 ± 3.3 ab	69.7 ± 3.3 c	123.6 ± 24.2 a	-11.1 ± 24.2 c
FF-N	29.3 ± 4.3 c	-29.3 ± 4.3 c	17.1 ± 3.4 d	102.9 ± 3.4 a	37.8 ± 12.2 c	74.7 ± 12.2 a
FF-P	84.1 ± 9.0 b	155.9 ± 9.0 a	28.8 ± 1.2 cd	-28.2 ± 1.2 e	75.8 ± 9.5 bc	36.7 ± 9.5 b
FF-K	112.7 ± 11.2 ab	127.3 ± 11.3 ab	50.2 ± 4.3 ab	69.8 ± 4.3 c	91.8 ± 16.7 ab	-91.8 ± 16.7 d
RF	119.3 ± 18.7 a	90.7 ± 18.7 b	55.7 ± 9.8 a	52.3 ± 9.8 d	122.7 ± 8.2 a	-17.7 ± 8.2 c
RF-N	35.0 ± 3.5 c	-35.0 ± 3.5 c	22.8 ± 0.6 d	85.2 ± 0.6 b	56.1 ± 1.7 c	48.9 ± 1.7 ab
RF-P	96.0 ± 7.3 ab	114.0 ± 7.3 b	38.3 ± 1.1 bc	-38.3 ± 1.1 e	106.6 ± 10.7 ab	-1.6 ± 10.7 c
RF-K	103.5 ± 12.1 ab	106.5 ± 12.1 b	50.5 ± 5.4 ab	57.5 ± 5.5 cd	89.1 ± 12.8 ab	-89.1 ± 12.8 d

2.3 不同施肥处理的小麦肥料利用率

表 5 是 FF 和 RF 处理的肥料利用率指标。表 5 显示,当地小麦的氮肥表观利用率较高,其次是钾肥,磷肥的利用率最低。RF 处理的氮肥和钾肥表观利用率比 FF 处理分别高 6.2% 和 3.8%,而磷肥表观利用

率比 FF 处理低 1.8%。RF 处理的氮肥、磷肥和钾肥偏生产力分别高于 FF 处理 20.4%、17.3% 和 13.0%。试验区土壤的氮肥农学效率为每公斤氮肥可增产 11.2 ~ 16.2 kg,氮肥效益明显;磷肥的农学效率较低,每公斤磷肥增产效益 2.3 ~ 10.7 kg;每公斤钾肥的增

产效率最低, 为 $-1.4 \sim 9.4$ kg。

表 5 不同施肥处理对肥料利用率的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on fertilizer use efficiencies

肥料利用率	养分	FF	RF	RF-FF
表观利用率 RE(%)	N	33.9 ± 6.4	40.1 ± 8.9	6.2
	P	17.9 ± 2.8	16.1 ± 8.0	-1.8
	K	28.2 ± 7.0	32.0 ± 7.8	3.8
偏生产力 PFP(kg/kg)	N	19.1 ± 1.4	23.0 ± 2.2	3.9
	P	38.2 ± 2.8	44.8 ± 4.3	6.6
	K	40.7 ± 3.0	46.0 ± 4.4	5.3
农学效率 AE(kg/kg)	N	12.6 ± 1.4	14.0 ± 2.2	1.4
	P	12.9 ± 2.8	6.5 ± 4.2	-6.4
	K	1.6 ± 3.0	5.0 ± 4.4	-3.4

2.4 不同施肥处理的土壤有效氮、磷、钾含量

图 2 显示小麦收获后土壤有效态氮、磷、钾含量, 不同施肥量下的土壤碱解氮含量无显著变化, FF-P 和 RF-P 处理的土壤有效磷含量显著下降; 不施氮处理(FF-N、RF-N)由于其较低的生物量, 植物带走的钾素少, 其土壤速效钾含量高于其他各处理, 其他各施肥处理间的速效钾含量无显著差异。由此可见, 试验区土壤不施磷肥, 一季小麦后其土壤有效磷含量就会显著下降, 而土壤碱解氮和速效钾含量并不会因为一季没有施肥而显著降低。

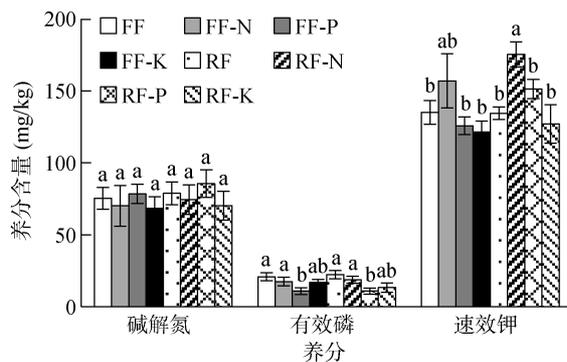


图 2 不同施肥处理下土壤的碱解氮、有效磷和速效钾含量

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on soil available nutrients

3 讨论

3.1 基础肥力

20 世纪 90 年代以来, 单纯依靠大肥大水增加产量的粗放管理方式破坏了耕地原有的生态, 导致了土壤肥力下降。本试验区土壤全氮为 1.13 g/kg(2017 年江宁区土壤全氮平均值为 1.54 g/kg), 土壤碱解氮含量为 59.97 mg/kg, 试验结果表明, 当季小麦不施氮肥,

小麦的株高、穗粒数、千粒重均显著下降, 产量大幅下降, 其不施氮肥的基础产量仅为 1546 kg/hm², 仅是常规施肥产量的 33.8%。试验区土壤有效磷为 19.80 mg/kg, 当季不施磷肥也会导致小麦产量的下降。试验区土壤速效钾含量为 142.5 mg/kg, 不施钾肥不会影响小麦产量。不施氮、磷或钾处理的小麦地上部吸氮量、吸磷量和吸钾量分别代表土壤氮、磷和钾素的供应能力, 分别为 N $29.3 \sim 35.0$ kg/hm²、P₂O₅ $28.8 \sim 38.3$ kg/hm² 和 K₂O $89.1 \sim 91.8$ kg/hm², 由此得出试验区小麦基础肥力的限制因素为氮, 为保持耕地的生产能力, 需要保持氮肥的投入, 可施用 210 kg/hm² 的氮肥, 并用缓释氮肥代替 30% 速效氮以节省追肥的人力投入。

3.2 肥料利用率和土壤养分平衡

我国主要粮食作物的氮、磷和钾肥平均表观利用率约为 30%、15% 和 30%^[13]。本试验结果显示, 当季小麦常规施肥的氮肥表观利用率为 33.9%, 而配方施肥因为降低了施氮量, 且氮磷钾施肥比例更为合理, 其氮肥表观利用率达到 40.1%; 所有施氮处理的氮素平衡表现为盈余状态, 近 50% 投入的氮肥残余在土壤中或损失, 建议配方肥再降低 10% ~ 15% 的氮用量。虽然磷肥的当季利用率较低, 但其累积利用率较高, 因此配方肥再降低 20% ~ 30% 的磷用量, 避免过量磷肥投入导致的潜在环境风险。

不施钾肥的处理, 小麦钾素吸收有一定下降, 但没有显著影响小麦的产量, 而且小麦吸收的钾素大部分存在于小麦秸秆中, 不施钾肥处理小麦籽粒吸收的钾素占小麦地上部吸钾量的 18.9% ~ 20.7%, 而施钾肥处理籽粒吸收钾素仅占小麦地上部吸钾量的 13.6% ~ 16.6%。由此可推断, 小麦钾素的吸收有部分为奢侈吸收, 吸收量超过其需要量。但是, 常规施肥和配方施肥的钾素平衡又显示为亏缺状态, 分别亏缺 11.1% 和 17.7%, 而土壤速效钾水平无显著变化。在当前小麦产量和钾素需求水平下, 长期持续此施钾水平可能会造成土壤钾素肥力下降, 因此可提高配方肥中 10% 左右钾用量, 同时推广秸秆还田技术, 以补充其带走的钾量。

4 结论

在华东地区小麦生产中, 氮是主要限制因子, 不施氮肥小麦大幅度减产, 当季不施钾肥不会显著降低小麦的产量; 土壤磷素处于中等水平, 不施磷肥, 小麦有一定程度的减产。配方施肥的氮肥和钾肥表观利用率比常规施肥分别高 6.2% 和 3.8%, 而磷肥表观利用率比常规施肥低 1.8%。缓控释配方施肥的施氮

量、施磷量超过了植株的需求, 盈余 50% 左右, 但是缓控释配方施肥的施钾量低于作物吸钾量, 土壤钾素平衡为亏缺状态。因此, 建议在氮 (N)、磷 (P_2O_5)、钾 (K_2O) 肥用量分别为 210、108 和 105 kg/hm^2 的华东地区小麦缓控释配方肥中(其中含有 30% 缓释氮肥), 氮肥用量可再降低 10% ~ 15%, 磷肥用量再降低 20% ~ 30%, 而钾肥用量需提高 10% 左右, 即新的华东地区小麦缓控释配方肥的氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O) 肥用量分别为 180 ~ 190、80 ~ 90 和 90 ~ 100 kg/hm^2 。

参考文献：

- [1] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 687-694
- [2] 谷洁, 高华. 提高化肥利用率技术创新展望[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 17-20
- [3] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农田氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87
- [4] 于淑芳, 杨力, 张民, 等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 128-133
- [5] 汪强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓/控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 47-50
- [6] 樊小林, 廖宗文. 控施肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219-223
- [7] 李若楠, 王丽英, 张彦才, 等. 氮肥追施时期及包膜控释氮肥对冬小麦产量和氮素吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 277-280
- [8] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 627-633
- [9] 王新民, 侯彦林, 介晓磊, 等. 冬小麦施用控释氮肥增产效应研究初报[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 98-101
- [10] Zhou Z J, Shen Y Z, Du C W, et al. Economic and soil environment benefits of using controlled-release bulk blending urea in the North China Plain[J]. Land Degradation & Development, 2017, 28(8): 2370-2379
- [11] 纪洋, 刘刚, 马静, 等. 控释肥施用对小麦生长期 N_2O 排放的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 526-534
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000: 208-314
- [13] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924

Application of Controlled-Release Formulated Fertilizer on Winter Wheat in East China

SUN Ting¹, MA Hongwei^{2*}, WANG Menglan¹, ZHANG Yuan¹

(1 Jiangning Farmland Quality Protection Station, Nanjing 211100, China;

2 Nanjing Farmland Quality Protection Station, Nanjing 210036, China)

Abstract: Based on the current soil fertility level from previous investigations, the controlled release formulated fertilizer (CRFF) was developed for wheat in East China, and its effects on wheat yield, soil nutrient balance and nutrient use efficiency were studied. For CRFF treatment once application was adopted to save fertilization labor, and the results showed that nitrogen was reduced by 12.5%, phosphorus by 10%, and potassium by 6.7% while the winter wheat yield remained stable, which resulted in the increase of nitrogen use efficiency by 6.20% as well as the increase of the nitrogen productivity by 20.4% while kept soil fertility level. Furthermore, the nutrient balances demonstrated that both nitrogen and phosphorus were over input with about 50%, while potassium input was less input with about 10%. Therefore, it was indicated that the CRFF could be further optimized for the winter wheat in East China, and the nitrogen input could be further reduced by 10%–15% and phosphorus by 20%–30% while potassium increased by about 10%, thus the dosage of fertilizer input rates were recommended as 180–190 kg/hm^2 , 80–90 kg/hm^2 and 90–100 kg/hm^2 for nitrogen (N), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O), respectively.

Key words: Winter wheat; Controlled release; Formulated fertilization; Soil nutrient balance; Fertilizer use efficiency