

施用磷肥对春小麦产量与吸氮特性 及土体中硝态氮累积的影响

张爱平¹, 刘汝亮², 李友宏², 杨世琦¹, 杨淑静¹, 杨正礼¹

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 通过宁夏引黄灌区田间小区试验, 研究施磷量分别为 0、60、120、180 kg/hm² 对春小麦产量、磷肥利用率、吸氮特性和土壤中硝态氮累积的不同影响, 旨在明确该区合理施磷量。结果表明: 合理施用磷肥 (60~120 kg/hm²) 能提高春小麦籽粒产量和生物量。当施磷量为 120 kg/hm², 小麦籽粒产量最高, 为 6 215 kg/hm²。春小麦氮素累积动态呈先增加后降低的趋势, 增施磷肥能增加小麦吸氮量, 但到成熟期春小麦地上部氮素累积出现损失, 损失量达 7.7%~13.4%。当施磷量分别为 60、120、180 kg/hm² 时, 0~150 cm 土层中的 NO₃⁻-N 累积量分别比对照减少了 50.6、58.5、62.9 kg/hm²。综合考虑磷肥利用率、小麦产量和降低土体中 NO₃⁻-N 残留等方面的因素, 磷肥当季施用量应该控制在 60~120 kg/hm²。

关键词: 春小麦; 磷肥; 吸氮特性; 硝态氮残留

中图分类号: S147.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0030-05

磷是小麦生长发育所必需的大量营养元素之一, 参与组成植物体内许多重要的化合物, 是植物体生长代谢过程所不可缺少的。小麦所利用的磷素, 主要来源于土壤^[1]。近年来关于磷肥对小麦产量的影响和磷肥利用率的研究已有较多报道^[2,3], 何文寿等^[4]研究了宁夏引黄灌区春小麦不同生育期氮、磷、钾的养分吸收特征, 结果表明磷素的吸收高峰期在拔节期, 占磷整个生育期吸收量的 46%; 袁新民^[5]在陕西省黄土高原南部的“国家黄土肥力和肥料效益监测基地”进行的长期定位监测, 表明配合施用磷肥可以显著降低 0~4 m 土体中 NO₃⁻-N 的累积, 单施氮肥和氮钾配合的 0~4 m 土壤剖面的 NO₃⁻-N 的累积高达 1 000 kg/hm², 其中约 50%~60% 以上分布在 2~4 m 作物无法吸收的土层内, 而氮磷配合的土层内 NO₃⁻-N 的累积仅为 220 kg/hm², 且 80% 的 NO₃⁻-N 分布在 0~2 m 土层内。Warren^[6]和 Poss^[7]报道了平衡施肥在减少 NO₃⁻-N

累积方面有积极的作用。而关于不同磷肥施用量对宁夏引黄灌区春小麦吸肥特性和土体中 NO₃⁻-N 累积的研究还尚未见报道。本研究通过田间小区试验, 探讨了施用磷肥对宁夏引黄灌区春小麦产量、吸氮特性和土体中 NO₃⁻-N 累积的影响, 以期在当地春小麦合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验在位于吴忠市利通区的吴忠国家农业科技园区进行。试验点位于东经 106°21'13", 北纬 37°99'16", 该区属温带大陆性半干旱气候, 海拔为 1 130 m, 年均降水量 260 mm, 年蒸发量 2 018 mm, 平均温度 9.4℃。全年日照 2 955 h, 无霜期 163 d。水旱轮作是该地区主要的粮食种植方式。供试土壤为灌淤土, 基础肥力中等偏上, 基本理化性质如表 1、表 2 所示。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic properties of tested soil

土壤层次 Soil layer (cm)	质地 Texture	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
0~20	中壤土 Medium loam	15.9	1.12	62.2	17.7	226.7

收稿日期: 2009-02-20

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项河流环境综合整治技术与综合示范主题特殊河流项目 (2008ZX07212-004)

作者简介: 张爱平, 女, 山西平鲁人, 在读博士, 研究方向: 农田污染防治, E-mail: apzhang0601@126.com。

通讯作者: 杨正礼, 男, 山西万荣人, 博士, 研究员, E-mail: yangzl@cjac.org.cn。

表 2 供试地各土层土壤容重

Table 2 The content of soil bulk density in different depth of experiment field

土壤层次(cm) Soil layer	0~30	30~60	60~90	90~120	120~150
容重(g/cm ³) Bulk density	1.34	1.37	1.49	1.42	1.32

1.2 试验设计与研究内容

田间小区试验氮肥用量为 240 kg/hm² N, 钾肥用量为 90 kg/hm² K₂O, 在氮钾用量一致的条件下, 设置 4 个 P 水平, 施磷量分别为: 0、60、120、180 kg/hm² P₂O₅ (以下简称 P₀, P₆₀, P₁₂₀, P₁₈₀)。以尿素(含氮 46%)为氮源, 60%作为基肥于播前一次施入, 40%作为追肥于拔节前(4 月 10 日)施入。磷肥用重过磷酸钙(P₂O₅, 46%), 钾肥用氯化钾(K₂O, 60%), 磷钾肥均做基肥一次施入。小区面积 4 m×8 m=32 m², 采用随机区组排列, 重复 3 次。供试作物为春小麦, 品种为宁春 4 号。

2008 年 2 月 28 日播种, 播种量为 300 kg/hm², 2008 年 7 月 9 日收获, 田间管理同高产田。小麦生育期间共灌水 4 次, 分别为 4 月 26 日、5 月 4 日、5 月 21 日、6 月 18 日, 每次灌水量为 1500 m³/hm²。

1.3 田间取样与测定方法

在小麦播种前(2 月 26 日)、苗期(4 月 6 日)、收获期(7 月 10 日), 分别在各小区按 0~20、20~40、40~60、60~90、90~120、120~150 cm 分 6 层取 0~150 cm 土层土样, 每小区取 3 个点, 相同层次的土壤混合为 1 个样, 置于一 20℃冰柜冷冻保存。样品处理和测定步骤为, 解冻后, 将样品充分混匀, 称取 10.0 g 鲜土样, 用 1.0 mol/L 的 KCl 溶液浸提(水土比 5:1), 振荡 30 min 过滤, 用法国产 FUTURA 型流动分析仪同时测定土壤硝态氮和铵态氮含量。土壤处理的同时, 测定土壤含水量。按照小区实收计产, 并从中抽取部分植株和籽粒样品。植株样品粉碎过筛

后, 半微量凯氏定氮法方法测定植株全氮含量和籽粒蛋白质含量。土壤硝态氮累积量=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm³)×土壤硝态氮含量(mg/kg)/10^[5]。

2 结果与分析

2.1 施磷对春小麦产量和磷肥利用率的影响

施用磷肥可显著增加小麦的籽粒和秸秆产量, 而磷肥处理间的产量并无显著差异。施磷量为 60、120、180 kg/hm² 时, 籽粒产量分别比对照增加 625、631、419 kg/hm², 增产率分别为 11.2%、11.3%、7.5%。当施磷量超过 120 kg/hm² 时, 小麦籽粒产量略有降低, 其原因可能是因为过量的施用磷肥导致春小麦营养生长过剩, 植株上部通风不畅, 叶片光合能力降低, 影响了春小麦灌浆期向籽粒的养分转运^[1]。秸秆增产率在 14.3%~20.1%, 且增产量随着施磷量的增加而增加(表 3)。施用磷肥对收获期作物地上部总吸磷量的影响显著, 施用磷肥或增施磷肥都能显著地促进春小麦地上部对磷素的吸收累积。未施磷处理(P₀)春小麦地上部吸磷量已达到 36.4 kg/hm², 而施磷后各处理吸磷量增加了 5.9~11.2 kg/hm², 与对照比较均达显著水平。在磷肥利用率整体不高的水平下, 磷肥利用率随着施磷量的增加略有降低, 最高的施磷量 P₁₈₀ 处理的磷肥利用率仅有 6.2%, 导致磷肥利用率较低的原因一方面是因为磷素被土壤大量固定, 另一方面也说明试验地的土壤肥力较高。

表 3 施磷对春小麦产量和磷肥利用率的影响

Table 3 Effect of P application on the yield and P use efficiency of spring wheat

处理 Treatment	籽粒产量(kg/hm ²) Grain yield	秸秆产量(kg/hm ²) Straw yield	吸磷量(kg/hm ²) Total P uptake	磷肥利用率(%) P use efficiency
P ₀	5584 b	8084 b	36.4 c	—
P ₆₀	6209 a	9237 a	42.3 b	10.0
P ₁₂₀	6215 a	9684 a	44.7 b	7.0
P ₁₈₀	6003 a	9779 a	47.6 a	6.2

注: 表中同一列中不同字母表示显著差异 (P<0.05), 下同。
Note: Different letters in the same line indicated significant difference at 5% level between the treats.

2.2 施磷对春小麦不同生育期氮素累积量的影响

春小麦地上部各生育时期的氮素吸收和阶段累积见表 4。各处理的氮累积量随着生育期的延长总体呈现先增后降的趋势,均在灌浆期出现最大,到成熟期略有降低,成熟期地上部氮素累积量占最大累积量的 86.6%~92.3%,有 7.7%~13.4%的氮素在灌浆后损失掉,这与李生秀、胡田田等人的研究结果一致^[8,9]。由此可知,在施用氮肥的基础上配施磷肥,没有改变春小麦氮素累积先增加后减小的趋势^[11],但当施磷量超过 120 kg/hm² 时,灌浆期春小麦对氮素的累积量与对照(P₀)比较增加 78.5%~89.9%。春小麦以苗期吸收氮量较少,各处理分别

占总吸收量的 6.3%、5.1%、5.4%、5.5%。P₀ 处理和 P₆₀处理的氮素累积高峰出现在拔节期,分别占总吸收量的 44.6%和 44.0%,说明在春小麦生育早期,植株已经吸收了大量的氮素,而 P₁₂₀处理和 P₁₈₀处理的氮素累积高峰出现在抽穗期,分别占总吸收量的 38.2%和 37.1%;P₁₂₀处理和 P₁₈₀处理氮素吸收高峰后移到抽穗期的原因可能是因为随着磷肥用量的增加,促进了根系的生长和对氮素的吸收。灌浆期由于籽粒的快速生长,各处理的吸氮量在 17.3~27.1 kg/hm² 之间,P₀ 处理的籽粒吸氮量最低,只有 17.3 kg/hm²,这也直接影响了小麦最终产量的形成。

表 4 施磷对春小麦不同生育期氮素累积量的影响

Table 4 Effect of P application on the different stage N accumulation of spring wheat						
处理 Treatment	项目 Item	苗期 Seedling	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	成熟期 Ripening
P ₀	累积量 Accumu· amount (kg/hm ²)	8.6	69.6	113.1	136.8	126.2
	阶段累积量 Accumu· of certain phase(kg/hm ²)	8.6	61.0	43.5	23.7	—10.4
	占总量比例 Ratio(%)	6.3	44.6	31.8	17.3	—
P ₆₀	累积量 Accumu· amount (kg/hm ²)	8.3	79.7	124.2	162.3	145.0
	阶段累积量 Accumu· of certain phase(kg/hm ²)	8.3	71.4	44.5	38.1	—17.3
	占总量比例 Ratio(%)	5.1	44.0	27.4	23.5	—
P ₁₂₀	累积量 Accumu· amount (kg/hm ²)	8.9	121.1	72.4	166.1	146.9
	阶段累积量 Accumu· of certain phase(kg/hm ²)	8.9	48.7	63.5	45.0	—19.2
	占总量比例 Ratio(%)	5.4	29.3	38.2	27.1	—
P ₁₈₀	累积量 Accumu· amount (kg/hm ²)	8.7	116.8	67.8	159.2	137.9
	阶段累积量 Accumu· of certain phase(kg/hm ²)	8.7	49.0	59.1	42.3	—21.3
	占总量比例 Ratio(%)	5.5	30.8	37.1	26.6	—

注:氮累积量=秸秆干重×氮含量+籽粒干重×氮含量;阶段累积量=某生育时期的累计量—上个生育时期的累积量;占总量百分比=阶段累积量/最高累积量×100。
Note: Nitrogen accumulation amount = dry matter of straw×N content in straw + dry matter of grain×N content in grain; Accumulation of certain phase = amounts of certain stage—amounts of last stage; Ratio(%)=amounts of a phase /max accumulation×100.

2.3 施磷对春小麦苗期和收获期土壤剖面中 NO₃⁻—N 分布的影响

从图 1 可以看出,随着氮肥作为基肥施入,在小麦苗期土体中 NO₃⁻—N 含量较高,随着春小麦的生长发育对土壤氮素的吸收,到了收获期 P₁₂₀、P₁₈₀处理 60 cm 以上土体中的 NO₃⁻—N 含量已经下降到 10 mg/kg 附近,而不施磷和 P₆₀处理土体中 NO₃⁻—N 含量虽比苗期有所降低,但仍高达 18.4 mg/kg 和 17.4 mg/kg,显著高于 P₁₂₀、P₁₈₀处理;不施磷处理在土体中 90 cm 处的 NO₃⁻—N 含量高达 6.8 mg/kg,显著高于其它处理,增加了继续向下淋洗损失的可能性。其它处理由于增施磷肥增加了小麦下层根系对氮素的吸收,90 cm 处的 NO₃⁻—N 含量普遍较低。

低 NO₃⁻—N 在土壤中的残留,减少因 NO₃⁻—N 淋洗而造成的环境风险。但综合考虑磷肥利用率和对小麦产量的影响,磷肥当季施用量不应该超过 120 kg/hm²。

2.4 施磷对春小麦硝态氮累积量的影响

国外有关研究^[10]表明施钾不足,可以导致硝酸盐的向下淋失。而袁新民^[5]等在中国北方地区的研究表明,在 N、K 配施,不施用 P 肥的情况下,土壤中 NO₃⁻—N 的累积仍非常高,说明在中国北方地区土壤含有较丰富的钾,K 在此条件下并不能减少 NO₃⁻—N 的累积,只有 P 才是养分限制因子。在本试验条件下,施磷与不施磷(P₀)相比,均可减少 NO₃⁻—N 在 0~150 cm 土层土体中的累积量,且 NO₃⁻—N 累积量随着施磷量的增加而降低。当施磷量分别为

60、120、180 kg/hm² 时,0~150 cm 土层中的 NO₃⁻-N 累积量分别比对照减少了 50. 6、58. 5、62. 9 kg/hm²,NO₃⁻-N 累积量比对照处理(P₀)降低的主要原因是减少了在 0~90 cm 土层中的累积,P₆₀、P₁₂₀、P₁₈₀处理累积量分别比对照降低了 43. 4、64. 7、70. 7 kg/hm²。各施磷处理能降低土层中 NO₃⁻-N

累积的主要原因是因为根系是作物吸收水分和养分的主要器官,根系没有充分发育就不能吸收更多的水分和养分^[5]。作物生长发育程度不同,生长量和发育空间不同,必然会影响作物对水分和养分的吸收。磷肥可能就是靠增加根系吸收养分的范围来降低土壤硝酸盐含量。

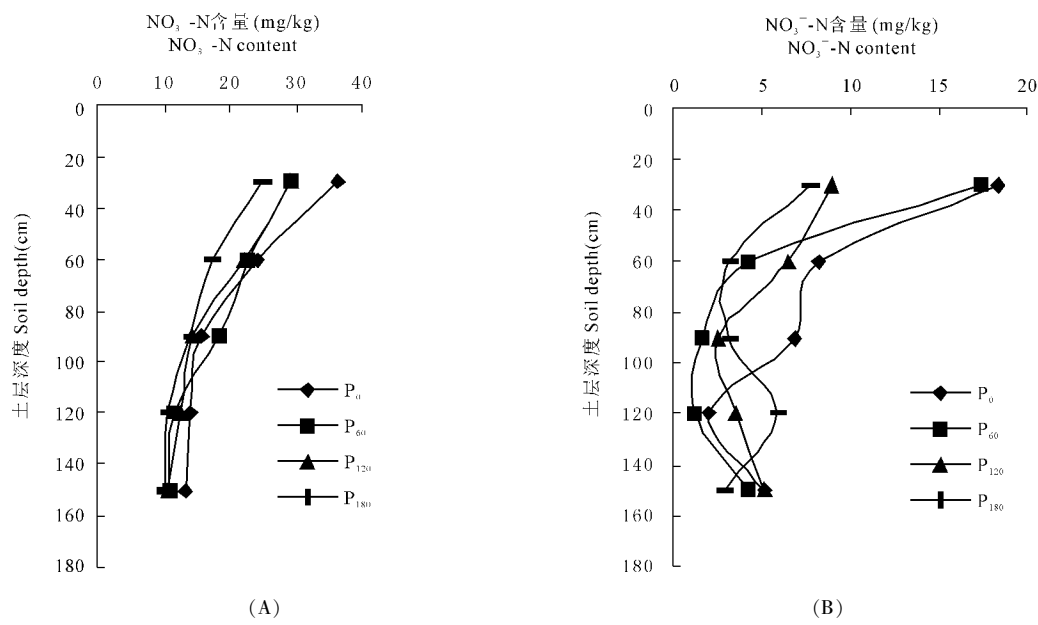


图 1 施磷对春小麦苗期(A)和收获期(B)土体中 NO₃⁻-N 含量的影响

Fig-1 Effect of P application on spring wheat seedling (A) and harvest (B) of NO₃⁻-N content in soil layer

表 5 施磷对春小麦 0~150 cm 全生育期
土层硝态氮累积量的影响

Table 5 Effect of P application on NO₃⁻-N
accumulation of soil profiles(kg/hm²)

土层深度(cm) Soil depth	P ₀	P ₆₀	P ₁₂₀	P ₁₈₀
0~30	73.9	69.9	35.8	31.1
30~60	33.5	17.2	26.5	22.1
60~90	30.5	7.4	11.1	14.0
90~120	8.5	4.8	14.8	25.0
120~150	20.2	16.7	20.1	11.5
0~150	166.6	116.0	108.1	103.7

3 结论与讨论

张少民等^[11]研究认为,在施用氮肥的基础上合理配施磷肥,能显著提高小麦抽穗后的干物质累积量、提高冬小麦的小穗数、穗粒数和千粒重,继而提高小麦的产量。姜宗庆等^[12]的试验证明,适当增施对产量构成因子均有影响。何文寿等^[4]研究证明宁夏春小麦地上部干物质的累积量拔节期和灌浆期出现两个高峰期,各占总累积量的 30%左右;植株氮、

磷、钾累积吸收量出现拔节期和灌浆期两个高峰。在本试验条件下,施用磷肥可显著增加小麦的籽粒和秸秆产量,当施磷量超过 120 kg/hm² 时,会导致营养生长过剩,使小麦籽粒产量略有降低。磷肥利用率随着施磷量的增加而降低,最高的仅有 10.0%,说明在当地磷肥当季的利用率是非常低的。配施磷肥可以提高小麦地上部氮素累积量,P₀ 处理和 P₆₀ 处理的氮素累积高峰出现在拔节期,而 P₁₂₀ 处理和 P₁₈₀ 处理的氮素累积高峰有所后移,出现在抽穗期。小麦收获时地上部分氮素的损失可达 10.4%~21.3%,且前期吸氮愈多,后期损失量愈大。大量研究表明,植物生长过程中存在着氮素损失,这是植物的一种生理现象^[8]。植物的氮素损失有以下 2 种途径:一是通过吐水、根部分泌及衰老器官的自然脱落等损失^[8];另一种途径是在生长后期,植物以气态氮的形式向空气中逸失氮素^[13]。

一定用量范围内,氮磷配施可大幅度增加 0~60 cm 土层中的根系长度,亦显著地增加 60~140 cm 土层中的根系长度,磷肥对提高 60~140 cm 土层根系活力的效果也显著地高于氮肥^[5]。在本试验条件下,不施磷和 P₆₀ 处理在小麦收获后,土体中 NO₃⁻-

N 含量虽比苗期有所降低, 仍显著高于 P_{120} 、 P_{180} 处理, 不施磷处理在土体中 90 cm 处的 NO_3^- -N 含量高达 6.8 mg/kg , 显著高于其它处理, 增加了继续向下淋洗损失的可能性。当配施磷肥时 0~150 cm 土层中的 NO_3^- -N 累积量与对照比较明显降低, NO_3^- -N 累积量比对照处理(P_0)降低的主要原因是减少了在 0~90 cm 土层中的累积。在当地土壤肥力条件下, 综合考虑磷肥利用率、小麦产量和降低土体中 NO_3^- -N 残留等方面的因素, 磷肥当季施用量应该控制在 $60\sim 120 \text{ kg/hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] 李生秀. 提高旱地土壤氮肥利用效率的途径和对策[J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 56—75.
- [2] 高聚林, 刘克礼, 张永平, 等. 春小麦磷素吸收积累与分配规律的研究[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(3): 107—112.
- [3] 孙慧敏, 于振文, 颜红, 等. 施磷量对小麦品质和产量及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 135—138.
- [4] 何文寿, 何进勤, 郭瑞英. 宁夏引黄灌区春小麦不同生育期吸收氮、磷、钾养分的特点[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 789—796.
- [5] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 施用磷肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 397—403.
- [6] Warren G P, Atwal S S, Irungu J W. Soil nitrate variation under grass, sorghum and bare fallow in semi-arid [J]. Exper. Agric, 1997, 33(3): 321—333.
- [7] Poss R, Saragoni H. Leaching of nitrate, calcium and magnesium under maize cultivation on an oxisol in Togo [J]. Fertilizer Research, 1992, 33(2): 125—133.
- [8] 李生秀, 常青, 何琳. 植物氮素的挥发损失. 植物收获期地上部分氮素减少与土壤、作物和肥料供应的关系[J]. 西北农业大学学报, 1992, 20(增刊): 7—11.
- [9] 胡田田, 李岗, 韩思明, 等. 冬小麦氮磷营养特征及其与土壤养分动态变化的关系[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(4): 47—50.
- [10] Sexton B T. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn-based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil [J]. Environ Qual, 1996, 25: 982—992.
- [11] 张少民, 郝明德, 柳燕兰. 黄土区长期施用磷肥对冬小麦产量、吸氮特性及土壤肥力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 159—163.
- [12] 姜宗庆, 封超年, 黄联联, 等. 施磷量对不同类型专用小麦产量和品质的调控效应[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 113—116.
- [13] Farquhar G, Wetselaar R, Firth M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize [J]. Science, 1979, 20(3): 1257—1258.

Effects of P fertilizer application on yield of spring wheat and characteristics of N absorption and NO_3^- -N accumulation in soil profile

ZHANG Ai-ping¹, LIU Ru-liang², LI You-hong², YANG Shi-qi¹, YANG Shu-jing¹, YANG Zheng-li¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China;

2. Institute of Agricultural Resource and Environment, Academy of Ningxia Agroforestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of P fertilizer on yield of spring wheat, N fertilizer absorption characteristics and NO_3^- -N accumulation in Yellow River irrigation area of Ningxia. The result showed that P fertilizer application increased significantly grain yield and straw yield. The yield of treatment P_{120} was higher than that of other treatments, which was 6215 kg/hm^2 . The amount of N accumulation of spring wheat increased during the period from jointing to filling, but decreased by $7.7\%\sim 13.4\%$ at ripening. Application of P fertilizer can decrease greatly soil NO_3^- -N content in 0~90 cm soil layer. Compared to P_0 treatment, after wheat harvest NO_3^- -N accumulation of P_{60} , P_{120} and P_{180} treatment in 0~150 cm soil layer decreased by 50.6, 58.5 and 62.9 kg/hm^2 , respectively. Considering high spring wheat yield, efficiency of P fertilizer and low NO_3^- -N accumulation, the amount of fertilizer P should be controlled within $60\sim 120 \text{ kg/hm}^2$.

Keywords: spring wheat; yield; phosphate fertilizer; N absorption characteristic; NO_3^- -N accumulation