

黔西北山区施肥对小麦产量及肥料利用率的影响

薛晓辉, 胡 娅, 王思会

(贵州工程应用技术学院 生态工程学院, 贵州 毕节 551700)

摘要:在黔西北山区通过 3 a 的“3414”肥料试验,研究了施肥对小麦产量及肥料利用率的影响。结果表明:①氮磷钾配合施用后小麦产量最高,可达 $6\,193\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,缺素时小麦产量降低,以不施肥处理的小麦产量最低,降低 35.69%。增施氮、磷、钾肥小麦产量增加,最高增加 37.35%;②氮磷钾肥配合施用时氮肥利用率可达 50.78%,磷肥利用率可达 29.77%,缺素时氮、磷肥利用率降低;③增施氮、磷、钾肥可以提高氮、磷肥利用率,但是施用量过高时氮、磷肥利用率有所下降。

关键词:黔西北;施肥;氮肥利用率;磷肥利用率;小麦产量

中图分类号:S512.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2015)11-0039-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.11.0039

小麦作为贵州省毕节市的粮食作物之一,其单产较低,主要的原因是由于施肥不当^[1]。化肥是粮食增产的重要保障,合理施用能够提高小麦产量^[2-4]。从 20 世纪 50、60 年代我国开始逐渐注重化肥的施用,80 年代以后化肥投入量增加很快,2012 年贵州省施用化肥(折纯)98.17 万 t,其中毕节市施用氮肥 11.14 万 t,磷肥 2.06 万 t,钾肥 1.85 万 t,仅次于遵义市居全省第二位^[5]。大量的肥料投入导致了肥料利用率低下。1992 年朱兆良等总结了 728 个田间试验数据,中国小麦、水稻和玉米对氮肥的利用率在 28%~41%^[6]。2008 年张福锁等^[7]总结了全国 1 333 个田间试验的结果,认为我国小麦的氮肥利用率为 28.2%,磷肥利用率为 10.7%。2013 年农业部组织专家完成的《中国三大粮食作物肥料利用率研究报告》指出,我国小麦氮肥、磷肥、钾肥利用率分别为 32%、19%、44%,仍处于较低水平^[8]。土壤的类型^[9-11]、气候、栽培模式^[12-13]和作物品种等都会影响肥料利用效率,但肥料的搭配方式^[14]与用量^[15-17]也是影响其利用效率的重要因素。肥料的单施和配施不合理明显影响肥料的利用效率^[18-20],低施肥量易造成作物的减产,而盲目投入大量化肥,会降低肥料利用效率^[7],造成资源的浪费和威胁生态环境。毕节市属于我国西南偏远

山区,农户科学施肥的意识淡薄,多以经验来决定肥料种类和用量,因此,本研究在黔西北地区以冬小麦为研究对象,利用“3414”肥料效应试验,研究了不同施肥对氮、磷肥利用率的影响,对该地区农业科学施肥有一定参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

该试验建立于 2010 年 10 月,位于贵州省毕节市海子街镇红堰村(N27°21'3",E105°21'14",海拔 1 490 m)。研究区为高海拔冷凉山区,区内最高海拔 2 900 m,最低海拔 457 m,海拔高差 2 443 m,年均温 13.2℃,无霜期 260 d,年日照时数 1 377 h,日照率 31%。虽然年降雨量高达 848.6~1 394.4 mm,但 70%的降水集中在 5-9 月,区内主要的粮食作物有玉米、小麦、水稻等。试验田内土壤为黄壤,其基础肥力为:有机质 $34.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮为 $1.39\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $149.69\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤全磷为 $0.36\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $11.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试作物为小麦品种川农 10 号,供试肥料为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和氯化钾(含 K_2O 60%)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验主要采用“3414”肥料效应试验设计,共有处理 14 个,重复 3 次。小区共 42 个,面积为 $5\text{ m}\times 3\text{ m}$ 。试验设 3 个肥料因子,每个因子包括 4 个水平,以处理 1 为对照,处理 2、4、8、6(N、P、K)构成缺素条件,处理 2、3、6、11 构成增施氮肥条件,处理 4、5、6、7 构成增施磷肥

收稿日期:2015-03-24

基金项目:贵州省科学技术基金资助项目(黔科合 J 字[2011]2319 号);贵州省教育厅自然科学研究项目青年资助项目(黔教合 KY 字[2014]325);毕节学院高层次人才科学研究资助项目(院科合字 G2012010)

第一作者简介:薛晓辉(1980-),男,陕西省蒲城县人,博士,副教授,从事土壤化学与养分循环研究。E-mail: xuexh8028@sina.com。

条件,处理 8、9、6、10 构成增施钾肥条件(见表 1)。肥料全部用作底肥。播种量 135 kg·hm⁻²,每区 10 行,行距 30 cm。每年 10 月底左右播种,翌年 6 月初收获。

表 1 “3414”肥料试验设计
Table 1 The design of “3414”fertilizer experiment

序号 No.	处理 Treatments	N/ (kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)
1	N0P0K0	0	0	0
2	N0P2K2	0	60	70
3	N1P2K2	60	60	70
4	N2P0K2	120	0	70
5	N2P1K2	120	30	70
6	N2P2K2	120	60	70
7	N2P3K2	120	90	70
8	N2P2K0	120	60	0
9	N2P2K1	120	60	35
10	N2P2K3	120	60	105
11	N3P2K2	180	60	70
12	N1P1K2	60	30	70
13	N1P2K1	60	60	35
14	N2P1K1	120	30	35

1.3.2 测定项目及方法 2013 年小麦收获时以农学常规方法进行考种、测产,每区随机采取 10 株小麦制备植物样品待测。秸秆和籽粒中的含氮量以凯氏定氮法测定,秸秆和籽粒中的含磷量以 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钒钼黄比色法测定。

表 2 缺素条件下的肥料利用率

Table 2 Fertilizer use efficiency under lacking nutrient

处理 Treatments	秸秆吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat straw	籽粒吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat grain	地上部吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of aboveground	氮肥利用 率/% Nitrogen use efficiency	秸秆吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat straw	籽粒吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat grain	地上部吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of aboveground	磷肥利用率/% Phoshate fertilizer use efficiency
N0P0K0	23.06 c	79.37 a	102.43	—	2.21 c	12.17 b	14.38	—
N0P2K2	27.10 c	90.24 a	117.34	—	2.67 bc	14.56 ab	17.23	10.89
N2P0K2	33.36 bc	105.55 a	138.91	30.40	2.52 bc	17.51 ab	20.04	—
N2P2K0	43.96 ab	101.45 a	145.41	35.81	3.49 b	16.78 a	20.27	22.49
N2P2K2	54.91 a	108.45 a	163.36	50.78	5.13 a	17.05 a	22.18	29.77

不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。
Different lowercases mean significant difference at 0.05 levels. The same below.

所有数据均在 Microsoft Office 办公软件中处理,并以 DPS7.05 数据统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 缺素条件下小麦对氮、磷的吸收和利用

氮磷钾肥配施时,小麦秸秆吸氮量达到 54.91 kg·hm⁻²(见表 2)。以氮磷钾肥配施为对照,缺施钾肥时秸秆吸氮量为 43.96 kg·hm⁻²,下降 19.94%;缺施磷肥时秸秆吸氮量下降至 33.36 kg·hm⁻²;缺施氮肥时秸秆吸氮下降至 27.10 kg·hm⁻²,下降 50.65%,与氮磷钾配施处理间差异达到显著水平;不施肥时小麦秸秆吸氮量最低,仅 23.06 kg·hm⁻²。缺素对籽粒吸氮量和地上部吸氮量的影响,与对秸秆吸氮量的影响类似,但各处理的籽粒吸氮量差异未达到显著水平。氮磷钾肥配施促进了作物对氮素的吸收,氮肥利用率最高,可达 50.78%,缺施钾肥时氮肥利用率降至 35.81%,缺施磷肥时最低,仅 30.40%。

小麦籽粒中的磷含量明显高于秸秆,氮磷钾肥配施秸秆吸磷量最高,达到 5.13 kg·hm⁻²(见表 2),缺施氮、磷、钾肥时,秸秆吸磷量显著下降,不施肥时秸秆吸磷量最低,仅 2.21 kg·hm⁻²,下降 56.92%,与氮磷钾肥配施处理差异显著。籽粒吸磷量以氮磷钾肥配施处理最高,达到 17.05 kg·hm⁻²,缺施氮、磷、钾肥及不施肥时,秸秆吸磷量下降,仅不施肥处理籽粒吸磷量与氮磷钾肥配施处理差异显著。氮磷钾肥配施时磷肥利用率最高,达到 29.77%,缺施氮肥、钾肥时磷肥利用率降低,以缺施氮肥时最低,仅 10.89%。

2.2 增施氮肥条件下小麦对氮、磷的吸收和利用

在施用磷肥和钾肥的前提下,不施氮肥时小麦秸秆吸氮量为 27.10 kg·hm⁻²(见表 3),逐渐增加氮肥用量秸秆吸氮量增加,在 N2P2K2 处理时达到最高,为 54.91 kg·hm⁻²,与不施肥处理差异显著,当继续增施氮肥时,秸秆吸氮量下降;不施氮肥时小麦籽粒吸氮量为 90.24 kg·hm⁻²,增施氮肥籽粒吸氮量增加,N3P2K2 处理时达到最高,为 112.77 kg·hm⁻²,差异达到显著水平。秸秆吸磷量、籽粒吸磷量以不施氮时吸磷量最低,随施氮量

的增加吸磷量增加,在 N2P2K2 处理时达到最高,继续增施氮肥吸磷量有所下降。

增施氮肥显著影响氮肥与磷肥的吸收利用。在低氮施用时(N1P2K2)氮肥利用率为 34.64%(见表 3),当增施氮肥达到 N2 水平时,氮肥利用率达到 50.78%。但继续增加氮肥用量氮肥利用率下降。不施氮肥时磷肥利用率仅为 10.89%,增加施氮量磷肥利用率显著提高,最高可达 29.77%,但继续增加施氮量磷肥利用率下降。

表 3 增施氮肥对肥料利用率的影响

Table 3 Effect of increasing N fertilizer rate on fertilizer use efficiency

处理 Treatments	秸秆吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat straw	籽粒吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat grain	地上部吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of aboveground	氮肥利用 率/% Nitrogen use efficiency	秸秆吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat straw	籽粒吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat grain	地上部吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of aboveground	磷肥利用率/% Phoshate fertilizer use efficiency
N0P2K2	27.10 c	90.24 b	117.34	—	2.67 c	14.56 b	17.23	10.89 c
N1P2K2	30.93 c	98.00 b	128.93	34.64 b	3.09 c	17.01 a	20.1	21.81 b
N2P2K2	54.91 a	108.45 ab	163.36	50.78 a	5.13 a	17.05 a	22.18	29.77 a
N3P2K2	44.78 b	112.77 a	157.55	30.62 b	3.61 b	14.92 ab	18.53	15.84 c

2.3 增施磷肥条件下小麦对氮、磷的吸收和利用

在施用氮肥和钾肥的前提下,与不施磷肥相比,增施磷肥后小麦籽粒吸氮量增加,最高可达 119.21 kg·hm⁻²(见表 4),但是差异不显著。增施磷肥能够提高小麦秸秆的吸氮量,但是只有在 N2P2K2 处理时差异达到显著水平,总之,随着磷肥用量的增加,小麦地上部吸氮量增加,最高达到 163.36 kg·hm⁻²,比不施肥时增加了 17.60%。不施磷肥时氮肥利用率可达 30.40%,N2P1K2 的氮肥利用率达到了 35.84%。施用 N2P2K2 氮肥利用率显著提高,达到 50.78%,但是 N2P3K2 的

氮肥利用率有所下降,仅为 46.60%。

不施肥时小麦秸秆吸磷量为 2.52 kg·hm⁻²(见表 4),增施磷肥后秸秆吸磷量显著提高,最高值出现在 N2P2K2 处理,为 5.13 kg·hm⁻²。但是增施磷肥对小麦的籽粒吸磷量影响不明显,不施肥时籽粒吸磷量为 17.51 kg·hm⁻²,增施磷肥后籽粒吸磷量最高达到 19.13 kg·hm⁻²,提高 9.25%,未达到显著水平。N2P1K2 的磷肥利用率为 25.50%。N2P2K2 的磷肥利用率为 29.77%,比 N2P1K2 处理增加 16.75%,但是 N2P3K2 的磷肥利用率下降至 22.33%。

表 4 增施磷肥对肥料利用率的影响

Table 4 Effect of increasing P fertilizer rate on fertilizer use efficiency

处理 Treatments	秸秆吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat straw	籽粒吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of wheat grain	地上部吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N amount of aboveground	氮肥利用 率/% Nitrogen use efficiency	秸秆吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat straw	籽粒吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of wheat grain	地上部吸磷量/ (kg·hm ⁻²) P amount of aboveground	磷肥利用率/% Phoshate fertilizer use efficiency
N2P0K2	33.36 b	105.55 a	138.91	30.40 b	2.52 c	17.51 ab	20.03	—
N2P1K2	36.52 b	108.92 a	145.44	35.84 b	3.47 b	14.25 b	17.72	25.50 a
N2P2K2	54.91 a	108.45 a	163.36	50.78 a	5.13 a	17.05 ab	22.18	29.77 a
N2P3K2	39.14 b	119.21 a	158.35	46.60 a	4.02 b	19.13 a	23.15	22.33 a

2.4 增施钾肥条件下小麦对氮、磷的吸收和利用

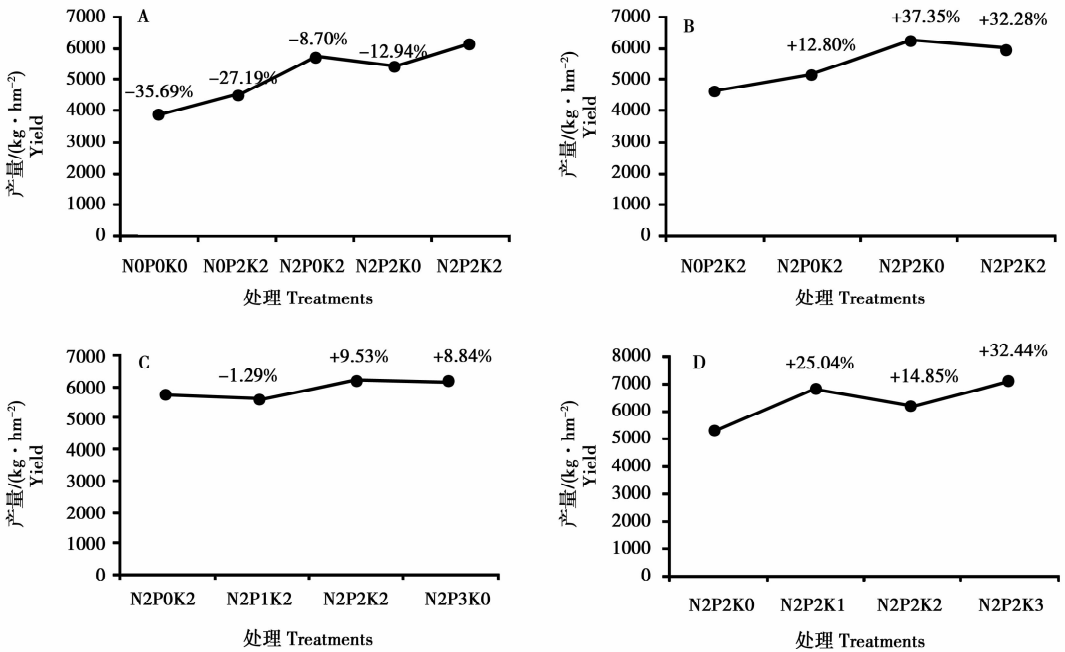
在施用氮肥和磷肥的前提下,增施钾肥对小麦籽粒吸氮量和籽粒吸磷量的影响并不显著(见表5)。增施钾肥后小麦秸秆吸氮量在27.95~54.91 kg·hm⁻²范围内波动,未有明显规律;秸秆吸磷量在不施钾肥时为3.49 kg·hm⁻²,持续增加施钾量,N2P2K2 秸秆吸磷量达到5.13 kg·hm⁻²,

与不施钾肥相比达到显著水平,但继续增加施钾量,N2P2K3 的秸秆吸磷量下降至3.72 kg·hm⁻²。不施钾肥时氮肥利用率和磷肥利用率为35.81%和22.49%,增施钾肥后仅N2P2K2 处理的氮肥利用率与不施钾肥处理差异显著,其它处理均未达到显著水平。

表 5 增施钾肥对肥料利用率的影响

Table 5 Effect of increasing K fertilizer rate on fertilizer use efficiency

处理	秸秆吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	籽粒吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	地上部吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	氮肥利用 率/%	秸秆吸磷量/ (kg·hm ⁻²)	籽粒吸磷量/ (kg·hm ⁻²)	地上部吸磷量/ (kg·hm ⁻²)	磷肥利用率/%
Treatments	N amount of wheat straw	N amount of wheat grain	N amount of above ground	Nitrogen use efficiency	P amount of wheat straw	P amount of wheat grain	P amount of aboveground	Phosphate fertilizer use efficiency
N2P2K0	43.96 ab	101.45 a	145.41	35.81 b	3.49 b	16.78 a	20.27	22.49 bc
N2P2K1	38.87 bc	109.01 a	147.88	37.87 b	4.04 ab	17.13 a	21.17	25.94 ab
N2P2K2	54.91 a	108.45 a	163.36	50.78 a	5.13 a	17.05 a	22.18	29.77 a
N2P2K3	27.95 c	113.46 a	141.41	32.48 b	3.72 ab	15.92 a	19.64	20.05 c



A为缺素条件; B为增施氮肥条件; C为增施磷肥条件; D为增施钾肥条件
A: Nutrient deficiency; B: Increasing N fertilizer; C: Increasing P fertilizer; D: Increasing K fertilizer

图 1 施肥对小麦产量的影响

Fig.1 Effect of fertilization on wheat yield

2.5 施肥对小麦产量的影响

氮磷钾配施时小麦产量6193 kg·hm⁻²(见图1A),当缺氮、缺磷和缺钾时小麦产量分别降低27.19%、8.70%和12.94%,不施肥时小麦产量最低,仅为3983 kg·hm⁻²,比氮磷钾配施处理降低35.69%;增施氮肥条件下(见图1B)不施氮肥

的处理小麦产量最低,为4509 kg·hm⁻²,增加施氮量小麦产量提高,与不施氮肥相比最高可增产37.35%,但是当施氮量达到N3P2K3时,小麦产量下降;增施磷肥条件下(见图1C),不施磷肥时小麦产量为5654 kg·hm⁻²,与不施磷肥处理相比,低量磷肥投入时,小麦产量变化不大,甚至有

小幅度降低。N2P2K2 小麦增产最高,比 N2P0K2 增加 9.53%;增施钾肥均能提高小麦产量,与不施钾肥处理相比,增产范围在 14.85%~32.44%,其中以 N2P2K3 小麦增产效果最好。

3 结论与讨论

在黔西北地区经过 3 a 的大田试验,发现氮磷钾肥料配施(N2P2K2)的小麦产量最高,达到 $6\ 193\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而缺乏某一种肥料时,将导致小麦减产,其中以缺氮肥时小麦减产最为明显,产量降低了 27.19%。如果不施用肥料时情况更为严重,小麦将减产 35.69%。说明化学肥料的投入是当地作物产量的重要保证。在同等条件下,增加氮肥的施用量增产效果最为明显,但当施氮量达到一定水平后,反而制约小麦产量的提高。钾肥次之,增施钾肥可提高小麦产量达 14.85%~32.44%,磷肥效果最差,小麦增产范围在 -1.29%~9.53%。这可能是因为该地块在农户耕作时一直偏重磷肥的投入有关。氮磷钾肥配施时氮肥和磷肥利用率最高,分别为 50.78%和 29.77%,而缺磷肥时氮肥利用率最低,仅 30.40%,缺氮肥时磷肥利用率最低,仅 10.89%。同等条件下,增加施氮量显著提高了氮、磷肥的利用率,但是施氮量过高时,肥料利用率有下降趋势;增加施磷量到 $\text{N}_2(120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2})$ 水平时显著提高了氮肥利用率,但是增施磷肥对磷肥利用率影响较小,甚至高额的磷肥用量时磷肥利用率反而下降;增施钾肥对氮磷肥利用率影响相对较小,但与不施用钾肥相比,N2P2K2 处理时氮磷肥利用率却得到显著提高,此结果还需进一步深入研究论证。

参考文献:

- [1] 魏成熙,毕志忠,李维贤,等.毕节地区小麦平衡施肥技术研究[J].耕作与栽培,1999(S):44-47.
- [2] 李芳林,郝明德,杨晓,等.黄土旱塬施肥对土壤水分和冬小麦产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):154-157.
- [3] 刘一.施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影

响[J].水土保持研究,2003,10(1):40-42.

- [4] 张鹏,刘瑞,王天泰,等.周至县冬小麦氮磷钾肥肥效及适宜用量[J].西北农业学报,2010,19(8):121-125.
- [5] 贵州省统计局.贵州统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2013.
- [6] 闫湘,金继运,何萍,等.提高肥料利用率技术研究进展[J].中国农业科学,2008(2):450-490.
- [7] 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.
- [8] 农业部新闻办公室.科学施肥促进肥料利用率稳步提高我国肥料利用率达 33%[J].农业工程技术,2013(10):89.
- [9] 高静,张淑香,徐明岗,等.长期施肥下三类典型农田土壤小麦磷肥利用效率的差异[J].应用生态学报,2009,20(9):2142-2148.
- [10] 钱卫飞,徐巡军,钱卫东,等.不同土壤类型水稻测土配方施肥对肥料利用率的影响[J].江苏农业科学,2013,41(1):83-85.
- [11] 高静,徐明岗,张文菊,等.长期施肥对我国 6 种旱地小麦磷肥回收率的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):584-592.
- [12] 马迎辉,王玲敏,叶优良,等.栽培管理模式对冬小麦干物质积累、氮素吸收及产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(10):1282-1288.
- [13] 王寅,李雅颖,鲁剑巍,等.栽培模式对直播油菜生长、产量和养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):597-607.
- [14] 李志军,贺丽瑜,梁鸡保,等.不同氮磷钾配比对黄土丘陵沟壑区谷子产量及肥料利用率的影响[J].陕西农业科学,2013(5):107-109.
- [15] 李瑞奇,李雁鸣,何建兴,等.施氮量对冬小麦氮素利用和产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(2):270-275.
- [16] 刘绫.不同氮肥用量对水稻产量及氮磷钾肥料利用率的影响[J].现代农业科技,2013,(15):26-27.
- [17] 胡春花,谢良商,符传良,等.不同施肥水平对超级稻产量和肥料利用率的影响[J].中国农学通报,2012,28(24):106-110.
- [18] 韩晓日,郭鹏程,陈恩凤,等.长期不同施肥对氮肥利用率的影响[J].土壤肥料,1997(5):12-15.
- [19] 陈磊,郝明德,张少民.黄土高原长期施肥对小麦产量及肥料利用率的影响[J].麦类作物学报,2006,26(5):101-105.
- [20] 张文安,苟久兰,李剑,等.黄壤旱地玉米氮、磷钾肥料利用率及其肥效[J].贵州农业科学,2008,36(5):92-94.

Effect of Fertilization on Wheat Yield and Fertilizer Use Efficiency in Northwest Guizhou

XUE Xiao-hui, HU Ya, WANG Si-hui

(College of Ecological Engineering, Guizhou University of Engineering Science, Bijie, Guizhou 551700)