

化肥深施在玉米上的应用效果研究

黄 盛¹, 王朝东², 冉 露^{3*}

¹利川市元堡乡农业农村服务中心, 湖北 利川

²利川市凉雾乡农业农村服务中心, 湖北 利川

³利川市农业综合开发服务中心, 湖北 利川

收稿日期: 2025年6月27日; 录用日期: 2025年7月24日; 发布日期: 2025年7月31日

摘 要

通过正规的田间小区试验, 研究了化肥深施在湖北利川二高山(海拔1100 m左右)玉米种植上的应用效果。试验结果表明, 将化肥深施到土壤表层下15~20 cm, 比习惯浅施于表层下5 cm左右化肥用量可减少20%, 亩节约肥料成本30元以上、增加收入超过50元, 实现了化肥减量、节本增效的目标; 从不同缺素处理结果看, 在利川玉米种植上肥料效应氮 > 钾 > 磷, 三要素交互效应氮磷钾 > 氮钾 > 氮磷 > 磷钾。

关键词

玉米, 化肥深施, 肥料效应, 偏生产力, 农学效率

Study on the Application Effect of Deep Application of Chemical Fertilizer on Corn

Sheng Huang¹, Chaodong Wang², Lu Ran^{3*}

¹Lichuan City Yuanbao Township Agricultural and Rural Service Center, Lichuan Hubei

²Lichuan City Liangwu Township Agricultural and Rural Service Center, Lichuan Hubei

³Lichuan City Agricultural Comprehensive Development Service Center, Lichuan Hubei

Received: Jun. 27th, 2025; accepted: Jul. 24th, 2025; published: Jul. 31st, 2025

Abstract

Through formal field trials, the application effect of deep application of chemical fertilizers on maize planting in the two high mountains of Lichuan, Hubei Province (at an altitude of about 1100 m) was studied. The experimental results showed that applying fertilizer deeply to the soil surface 15~20 cm below can reduce the amount of fertilizer used by 20% compared to the usual shallow

*通讯作者。

文章引用: 黄盛, 王朝东, 冉露. 化肥深施在玉米上的应用效果研究[J]. 农业科学, 2025, 15(8): 965-972.

DOI: 10.12677/hjas.2025.158119

application of about 5 cm below the surface, saving fertilizer costs of more than 30 yuan per mu and increasing income by more than 50 yuan, achieving the goal of reducing fertilizer usage, saving costs, and increasing efficiency; From the results of different nutrient deficiency treatments, it can be seen that in the cultivation of corn in Lichuan, the three elements of fertilizer have the effect of nitrogen > potassium > phosphorus, and the interaction effect of nitrogen, phosphorus, and potassium > nitrogen and potassium > nitrogen and phosphorus > phosphorus and potassium.

Keywords

Corn, Deep Application of Chemical Fertilizers, Fertilizer Effect, Biased Productivity, Agricultural Efficiency

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玉米是我国重要的粮食作物, 2024 年全国种植面积 44740.7 kha, 占粮食面积的 37.50%; 单产 6591.7 kg/ha (439 kg/亩), 总产 29491.7 万 t, 占粮食总产的 41.74% [1]。湖北是我国的粮食大省, 但玉米在粮食作物中的权重较小, 2024 年种植面积为 765.46 kha, 占全国玉米面积的 1.71%; 单产 4118.3 kg/ha (275 kg/亩), 总产 315.24 万 t, 占全国玉米总产的 1.07% [2]。利川市是湖北粮食大县(市), 粮食面积和总产稳居恩施州首位[3], 玉米是利川的三大主要粮食作物(玉米、水稻、马铃薯), 常年种植面积在 40 万亩左右, 单产 450 kg/亩上下, 为利川支柱产业畜牧业的健康稳定发展奠定了坚实基础。

利川地处鄂西南山区, 受地形地貌及交通条件影响, 旱地多为坡地, 且零碎分散, 机械化程度较低。玉米种植管理粗放, 以育苗移栽为主, 亩密度在 3000 株左右, 底肥多用 15-15-15 复合肥 30~50 kg/亩, 追肥分别在苗期、大喇叭口、抽雄期追施 1~3 次, 一般累计追施尿素 30 kg 左右或碳酸氢铵 80 kg 左右, 化肥施用纯量约为 32 kg/亩(N-P₂O₅-K₂O = 20-6-6), 氮磷钾配比不够科学。施肥方式基本为浅施(深度在 5 cm 左右)或表施, 特别是追肥多采用雨前表施, 随雨水冲刷流失、挥发等损失较大, 导致肥料利用率整体不高, 尤其是氮肥利用率低下。为研究化肥深施对玉米增产和提升肥料利用效率的效果, 按湖北省耕肥总站的统一安排, 在利川中部盆地玉米主产区设置了田间小区试验, 现将结果报告如下。

2. 材料和方法

2.1. 时间与供试土壤

2024 年 4~10 月, 试验设置在元堡乡汉庙村, 地处东经 109.002403°、北纬 30.213548°、海拔 1110 m, 面积 2 亩。供试土壤为第四纪黏土母质发育的表壤黄土质黄棕壤, 质地黏壤, 试验前取样测试, pH 4.83、有机质 19.6 g/kg、全氮 1.35 g/kg、有效磷 82.1 mg/kg、速效钾 208 mg/kg, 按《湖北省耕地质量监测指标分级标准》(鄂耕肥[2018]16 号)评价, 有机质含量较低、全氮中等、有效磷和速效钾高, 整体肥力中等偏上, 主要障碍为酸化。

2.2. 供试材料与作物

肥料: 尿素(N ≥ 46%), 过磷酸钙(P₂O₅ ≥ 12%), 氯化钾(K₂O ≥ 60%), 由试验农户在市场购买。

作物: 玉米, 品种为富玉 166, 安徽喜多收种业科技有限公司选育, 是近年利川海拔 1000 m 以上推

广的中熟主导品种之一。

2.3. 试验设计与管理

当地玉米常规施肥中氮高、钾低、磷适中，为优化氮磷钾比例，结合试验地氮中磷钾高的特点，适度降低了氮和磷的用量，略提高了钾的用量，化肥施用纯量下调为 28 kg/亩(N-P₂O₅-K₂O = 15-5-8)，比常规施肥化肥折纯总量减少 10%以上。试验按肥料利用率方案设计，除不施肥外一一配对深施处理，对应深施处理化肥用量比常规处理减少 20%，共设 9 个处理，3 次重复，随机区组排列。小区面积 39 m²，长 10 m、宽 3.9 m，每小区 3 行 × 30 穴 = 90 穴。各处理内容见表 1。

Table 1. Calculation of fertilizer application rates for different treatments

表 1. 不同处理肥料施用量计算表

处理号	处理内容	总养分 kg/亩	N kg/亩	P ₂ O ₅ kg/亩	K ₂ O kg/亩	尿素 kg/小区	过磷酸钙 kg/小区	氯化钾 kg/小区
1	不施肥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
2-a	常规无氮	13.0	0.0	5.0	8.0	0.00	2.44	0.78
2-b	无氮深施	10.4	0.0	4.0	6.4	0.00	1.95	0.62
3-a	常规无磷	23.0	15.0	0.0	8.0	1.91	0.00	0.78
3-b	无磷深施	18.4	12.0	0.0	6.4	1.53	0.00	0.62
4-a	常规无钾	20.0	15.0	5.0	0.0	1.91	2.44	0.00
4-b	无钾深施	16.0	12.0	4.0	0.0	1.53	1.95	0.00
5-a	常规施肥	28.0	15.0	5.0	8.0	1.91	2.44	0.78
5-b	减量深施	22.4	12.0	4.0	6.4	1.53	1.95	0.62

施肥深度常规处理为 5 cm 左右、深施处理为 15~20 cm，氮肥(尿素) 70%、磷钾肥 100%作底肥在播前穴施。2024 年 5 月 13 日播种，直播，每穴 3~4 粒玉米种，规格 130 cm × 33 cm，亩密度 1554 穴；5 月 25 日间苗补苗，每穴留双株苗；6 月 5 日，喷雾选择性除草剂除田间杂草；6 月 11 日，有氮肥处理按设计追施尿素(总量的 30%)；全生育期基本无病虫害发生，故未进行病虫害防治。9 月 24 日收获，按小区计玉米籽粒和秸秆实产，并取样测量株高、穗位高、穗长、穗粒数、百粒重等生物学性状。

2.4. 数据统计与分析

国内外用于表征肥料利用效率的参数较多，国内较通用的是肥料利用率(肥料养分回收率)，国际上还常用肥料偏生产力、农学效率和生理利用率等参数来表征肥料的利用效率[4]。本试验因未对玉米籽粒及秸秆氮磷钾含量进行测试分析，故只计算肥料偏生产力(PFP)、肥料农学效率(AE)和肥料单质效应。采用 Excel 对产量结果作方差分析 F 检验，新复极差法比较处理间差异显著性。

$PFP(kg/kg) = Y/F$ ， Y 为作物施肥的经济产量， F 为化肥的投入纯量。PFP 被国际农学界常用，无需设置空白区，简单明了、农民易于掌握。也较适合我国土壤和环境养分供应量大、化肥效益下降的现实，是评价肥料效应的适宜指标[4]。

$AE(kg/kg) = (Y - Y_0)/F$ ， Y 为作物施肥的经济产量， Y_0 为作物不施肥的经济产量， F 为化肥的投入纯量。AE 评价肥料增产效应较为准确，但必须设不施肥区，应用起来较为不便[4]。

$N(P_2O_5, K_2O)$ 肥料单质效应(kg/kg) = $(Y - Y_0)/F$ ， Y 为全量施肥作物的经济产量， Y_0 为作物不施 N(P₂O₅, K₂O)肥的经济产量， F 为全量施肥中 N(P₂O₅, K₂O)肥纯量。

3. 结果与分析

3.1. 不同处理对玉米籽粒产量的影响

玉米籽粒产量结果统计分析见表 2，不同处理亩产 208.5~432.5 kg，因播种比常年推迟近 1 个月，加之 7~9 月玉米生长后期持续干旱，故比正常年份减产一成以上。不施肥处理的地力贡献率(基础地力)不足 50% (与常规施肥和减量深施比较)，由高到低分别为减量深施、常规施肥、常规无磷、无磷深施、常规无钾、无钾深施、无氮深施、常规无氮、不施肥。与不施肥对比，不同施肥处理亩增产 44.2~224.0 kg，增幅 21.20%~107.43%。常规与深施两两对比，有增有减，但差异不大。无氮深施比常规无氮亩增产 8.4 kg、增幅 3.32%，无磷深施比常规无磷亩减产 8.0 kg、减幅 2.07%，无钾深施比常规无钾亩减产 5.4 kg、减幅 1.52%，减量深施比常规全量施肥亩增产 9.2 kg、增幅 2.17%。

经方差分析，处理间和区组间差异都达极显著水平，因试验地为坡地，坡上肥力明显低于坡下，故区组间差异极显著。经新复极差检验，全量与无磷差异不显著、与无钾差异显著、与无氮和不施肥差异极显著，无磷与无钾差异不显著、与无氮和不施肥差异极显著，无氮与不施肥差异不显著。深施处理化肥用量减少 20%，与对应的常规处理比较产量差异不显著，说明化肥深施利用率可提高 20%左右、利于减量增效。从氮磷钾三要素看，氮营养左右了玉米单产、钾次之、磷基本无影响，这应与试验地有效磷、速效钾含量处于高水平、而全氮含量为中等有直接关系，科学施用氮肥在玉米生产中显得更为重要。

Table 2. Analysis of corn grain yield under different treatment conditions

表 2. 不同处理玉米籽粒产量分析表

处理	处理内容	I	II	III	平均	亩产	多重比较	基础地力%	比 1 ±kg	比 1 ±%	位次
1	不施肥	13.98	12.44	10.18	12.20	208.5	cB	/	/	/	9
2-a	常规无氮	12.54	15.70	16.11	14.78	252.7	cB	82.51	44.2	21.20	8
2-b	无氮深施	15.93	16.99	12.90	15.27	261.1	cB	79.85	52.6	25.23	7
3-a	常规无磷	24.81	20.69	22.26	22.59	386.1	abA	54.00	177.6	85.18	3
3-b	无磷深施	21.54	24.05	20.77	22.12	378.1	abA	55.14	169.6	81.34	4
4-a	常规无钾	23.54	21.22	17.60	20.79	355.3	bA	58.68	146.8	70.41	5
4-b	无钾深施	21.47	23.38	16.55	20.47	349.9	bA	59.59	141.4	67.82	6
5-a	常规施肥	25.04	26.67	22.58	24.76	423.3	aA	49.26	214.8	103.02	2
5-b	减量深施	24.86	28.52	22.53	25.30	432.5	aA	48.21	224.0	107.43	1

注：表中多重比较栏为新复极差法比较结果，处理间无相同小写字母表示差异显著，无相同大写字母表示差异极显著，下同。

3.2. 不同处理对玉米秸秆产量的影响

玉米秸秆产量结果统计分析见表 3，不同处理亩产 254.6~471.1 kg，由高到低与玉米籽粒完全一样。与不施肥对比，不同施肥处理亩增产 22.3~216.5 kg，增幅 8.76%~85.04%。常规与深施两两对比，增减差异较小。无氮深施比常规无氮亩增产 9.4 kg、增幅 3.39%，无磷深施比常规无磷亩减产 13.3 kg、减幅 3.04%，无钾深施比常规无钾亩减产 8.8 kg、减幅 2.23%，减量深施比常规全量施肥亩增产 5.2 kg、增幅 1.12%。对应处理玉米籽粒与秸秆的产量比在 0.82~0.92 之间，秸秆单产(未计地下部分)比籽粒略高。

经方差分析，处理间差异极显著，区组间差异显著。经新复极差检验，常规施肥的无氮、无磷、无钾和全量处理与对应的减量深施处理两两间差异不显著，进一步肯定了化肥深施可提高其利用率。全量与

无磷差异不显著、与无钾差异显著至极显著、与无氮和不施肥差异极显著，无磷与无钾差异不显著、与无氮和不施肥差异极显著，无氮与不施肥差异不显著，变化规律与籽粒处理间差异基本一致。

Table 3. Analysis of corn straw yield under different treatments

表 3. 不同处理玉米秸秆产量分析表

处理	处理内容	I	II	III	平均	亩产	多重比较	比 1±kg	比 1±%	位次	籽粒/秸秆
1	不施肥	15.19	13.10	16.40	14.90	254.6	cC			9	0.82
2-a	常规无氮	15.38	18.25	14.97	16.20	276.9	cC	22.3	8.76	8	0.91
2-b	无氮深施	18.44	15.94	15.87	16.75	286.3	cC	31.7	12.45	7	0.91
3-a	常规无磷	27.87	25.66	23.29	25.61	437.7	abAB	183.1	71.92	3	0.88
3-b	无磷深施	25.18	27.38	21.93	24.83	424.4	abAB	169.8	66.69	4	0.89
4-a	常规无钾	21.33	25.50	22.30	23.04	393.9	bAB	139.3	54.71	5	0.90
4-b	无钾深施	25.42	22.38	19.79	22.53	385.1	bB	130.5	51.26	6	0.91
5-a	常规施肥	29.68	27.27	24.82	27.26	465.9	aAB	211.3	82.99	2	0.91
5-b	减量深施	30.07	27.30	25.30	27.56	471.1	aA	216.5	85.04	1	0.92

3.3. 不同处理对玉米产值及效益的影响

生产一亩玉米，肥料以外的投入在 800 元左右，基本与玉米的产值相当，因此，在当地玉米生产无效益可言，种植者多为家庭自有劳动力生产，不计报酬，产品也多用于养殖业作饲料。

尿素、过磷酸钙、氯化钾分别按 2500、700、3600 元/吨计算，折合 N、P₂O₅、K₂O 单价为 5.43、5.83、6.00 元/kg，玉米按 2.0 元/kg 计算，各处理产值及效益情况见表 4。不同处理亩收入在 417.00~865.00 元之间、肥料投入 61.72~158.60 元(不施肥除外)。各处理投入大于产出，收益为负数。不计肥料外投入的亩收益在 417.00~738.12 元之间、产投比为 5.34~8.46，因深施化肥减量 20%，对应的深施处理纯收益和产投比都明显高于常规处理。通过化肥减量深施，化肥投入减少、同时玉米收入增加，亩可节约化肥投入 15.43~31.72 元、增收 9.89~50.12 元，在常规施肥的基础上实现了节本增效的目标。

Table 4. Analysis of benefits of different treatment of corn

表 4. 不同处理玉米效益分析表

处理	处理内容	收入 (元/亩)	肥料投入 (元/亩)	收入 - 肥料 (元/亩)	产投比	总投入 (元/亩)	纯收益 (元/亩)	收益排位
1	不施肥	417.00	0.00	417.00	/	800	-383.00	9
2-a	常规无氮	505.40	77.15	428.25	6.55	877.15	-371.75	8
2-b	无氮深施	522.20	61.72	460.48	8.46	861.72	-339.52	7
3-a	常规无磷	772.20	129.45	642.75	5.97	929.45	-157.25	4
3-b	无磷深施	756.20	103.56	652.64	7.30	903.56	-147.36	3
4-a	常规无钾	710.60	110.6	600.00	6.42	910.60	-200.00	6
4-b	无钾深施	699.80	88.48	611.32	7.91	888.48	-188.68	5
5-a	常规施肥	846.60	158.60	688.00	5.34	958.60	-112.00	2
5-b	减量深施	865.00	126.88	738.12	6.82	926.88	-61.88	1

3.4. 不同处理玉米生育期及生物学性状变化

各处理玉米主要生育时期见表 5。经田间观察，不施肥和无氮处理玉米的株高在拔节期明显低于其他处理，并开始出现脱肥现象，叶片颜色逐渐变黄；从大喇叭口期开始生育期逐渐推迟，比其他处理全生育期延长 3~5 天。

Table 5. Record of corn growth period at experimental sites
表 5. 试验点玉米生育期记载表

处理	处理内容	播种	出苗	拔节	大喇叭口	抽雄	抽丝	成熟	全生育期(天)	收获
1	不施肥	5/13	5/20	6/21	7/14	7/25	8/03	9/18	128	9/24
2-a	常规无氮	5/13	5/20	6/21	7/14	7/25	8/03	9/18	128	9/24
2-b	无氮深施	5/13	5/20	6/21	7/14	7/25	8/03	9/18	128	9/24
3-a	常规无磷	5/13	5/20	6/21	7/13	7/23	7/30	9/15	125	9/24
3-b	无磷深施	5/13	5/20	6/21	7/13	7/23	7/30	9/15	125	9/24
4-a	常规无钾	5/13	5/20	6/21	7/13	7/23	7/30	9/15	125	9/24
4-b	无钾深施	5/13	5/20	6/21	7/12	7/22	7/30	9/15	125	9/24
5-a	常规施肥	5/13	5/20	6/21	7/12	7/22	7/28	9/13	123	9/24
5-b	减量深施	5/13	5/20	6/21	7/12	7/22	7/28	9/13	123	9/24

各处理株高、穗长、穗粒、百粒重等生物学性状见表 6。各性状基本表现为全量施肥 > 无磷 > 无钾 > 无氮 > 无肥，而相互对应的常规施肥与深施处理相差不大。玉米增产的主要途径来源于籽粒百粒重提高，与穗粒数等性状无明显相关性。

Table 6. Investigation form on economic characteristics of corn under different processing conditions
表 6. 不同处理玉米经济性状调查表

编号	处理内容	株高 cm	穗位 cm	穗长 cm	穗粗 mm	穗行数	行粒数	穗粒数	百粒重 g	理论亩产	排位
1	不施肥	161.3	59.7	13.5	44.9	14.9	23.5	321.5	25.19	251.7	9
2-a	常规无氮	172.1	64.6	14.3	47.9	15.5	25.0	361.8	26.56	298.7	8
2-b	无氮深施	167.7	66.5	14.8	46.2	15.3	24.8	357.6	27.01	300.2	7
3-a	常规无磷	193.3	87.5	17.1	52.8	17.6	31.1	552.3	28.54	489.9	3
3-b	无磷深施	189.6	83.9	17.5	53.1	17.3	30.6	546.8	28.68	487.4	4
4-a	常规无钾	186.7	77.2	16.5	51.2	16.8	28.6	521.4	27.43	444.5	6
4-b	无钾深施	183.6	75.1	16.3	51.5	17.0	29.2	514.3	29.69	474.6	5
5-a	常规施肥	199.2	92.7	17.7	53.5	17.8	33.2	585.0	30.86	561.1	2
5-b	减量深施	207.2	95.7	17.4	53.3	18.1	32.9	583.1	31.14	564.3	1

3.5. 氮磷钾肥料效应分析

各缺素处理与全量施肥的相对产量、减产率，以及偏生产力、农学效率和肥料单质效应等的计算结果见表 7。

与常规全量施肥对比，不施肥、常规无氮、常规无磷、常规无钾的玉米籽粒相对产量分别为 49.26%、

59.70%、91.21%、83.94%；与氮磷钾减量深施对比，不施肥、无氮深施、无磷深施、无钾深施的玉米籽粒相对产量分别为 48.21%、60.37%、87.42%、80.90%；肥料三要素对玉米产量的影响氮 > 钾 > 磷。

与不施肥比较，增产率按常规无氮、无氮深施、无钾深施、常规无钾、无磷深施、常规无磷、常规全量、减量深施的顺序逐步提高。总体看，氮磷钾三者的交互效应要高于任意两要素的交互效应，三要素两两间的交互效应氮钾 > 氮磷 > 磷钾。

常规处理的偏生产力 PFP 磷钾(无氮) > 氮磷(无钾) > 氮钾(无磷) > 氮磷钾三要素，分别为 19.44、17.77、16.79、15.12 kg/kg，深施处理的 PFP 大小排序与常规处理完全相同，分别为 25.11、21.87、20.55、19.31 kg/kg，肥料深施的偏生产力显著高于常规处理，这与三要素的交互效应刚好相反。

常规处理的农学效率 AE 氮钾(无磷) > 氮磷钾(全量) > 氮磷(无钾) > 磷钾(无氮)，分别为 7.72、7.67、7.34、3.40 kg/kg，深施处理的 AE 大小排序与常规处理略有不同，氮磷钾(全量) > 氮钾(无磷) > 氮磷(无钾) > 磷钾(无氮)，分别为 10.00、9.22、8.84、5.06 kg/kg，肥料深施的农学效率也要明显高于常规处理，且与三要素的交互效应完全一致。

常规处理的氮、磷、钾肥的单质效应分别为 11.37、7.44、8.50 kg/kg，深施处理则分别为 11.43、10.88、10.33 kg/kg，进一步印证了氮肥对玉米产量的影响更大，而磷钾肥的影响相对较小。

Table 7. Analysis of the effects of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers
表 7. 氮磷钾肥料效应分析表

序号	处理内容	kg/亩	相对产量(%)	减产率(%)	比 1 增产%	PFP (kg/kg)	AE (kg/kg)	单质效应
1	不施肥	208.5	49.26	50.74	0.00	/	/	/
2-a	常规无氮	252.7	59.70	40.30	21.20	19.44	3.40	11.37
3-a	常规无磷	386.1	91.21	8.79	85.18	16.79	7.72	7.44
4-a	常规无钾	355.3	83.94	16.06	70.41	17.77	7.34	8.50
5-a	常规施肥	423.3	100.00	0.00	103.02	15.12	7.67	/
1	不施肥	208.5	48.21	51.79	0.00	/	/	/
2-b	无氮深施	261.1	60.37	39.63	25.23	25.11	5.06	11.43
3-b	无磷深施	378.1	87.42	12.58	81.34	20.55	9.22	10.88
4-b	无钾深施	349.9	80.90	19.10	67.82	21.87	8.84	10.33
5-b	减量深施	432.5	100.00	0.00	107.43	19.31	10.00	/

4. 结论

通过该试验结果，初步可以认为：(1) 肥料三要素氮磷钾对利川的玉米生产有不同程度的影响，不施任何一种肥料都会导致玉米不同程度减产，包括经济产量和生物学产量；本次试验结果表明，三要素效应氮 > 钾 > 磷。(2) 氮磷钾三要素中缺乏任何一种元素，对玉米的生育期及株高、穗位高、百粒重等生物学性状都有一定的影响，但产量变化的主要因素来源于玉米籽粒百粒重的变化，且不施肥和缺氮会导致玉米生育期延长。(3) 肥料深施是实现化肥减量增效的有效途径。在玉米种植中将化肥深施至 15~20 cm，比浅施(5 cm 左右)化肥可减量 20%，亩可节约化肥投入 30 元以上、比常规施肥亩增收超过 50 元。肥料偏生产力、农学效率和单质效应化肥深施都明显高于浅施。(4) 用单质肥料效应评价肥料单一元素的增产效应可行，能真实反映各营养元素对作物经济产量的贡献；在评价氮磷钾三要素的交互作用时，农学效率比偏生产力更优，评价结果与真实水平更一致。

5. 讨论

我国肥料的当季利用率较低,氮肥为 30%~35%,磷肥为 10%~25%,钾肥为 35%~50% [5]。其中氮肥挥发、淋溶和径流等损失较大,会导致土壤肥力衰退、农产品产量和品质下降、环境污染等不良后果;磷肥在土壤中移动性较差,易被土壤固定,从而降低有效性;钾肥表施也易出现径流损失[6]。因此,改变玉米施肥方式,优化氮磷钾配比是利川提高玉米单产的主攻方向。通过化肥深施,将肥料集中施于玉米根系附近,使养分能够被作物充分吸收,减少挥发和淋失,达到提高化肥利用率、节肥增产的目的,同时减少化肥对环境的污染。在这方面,前人和各地同行们研究较多。如,张志明[6]报道的碳酸氢铵、尿素深施(6~10 cm)比表施利用率相对提高 115%和 35%;郑桂兰[7]的水稻试验结果表明,深施比撒施氮、磷、钾的利用率分别提高 9%、10.3%、15%;关霞[8]报道,在玉米上氮肥利用率随施用深度增加而提高,深施 17 cm、20 cm、23 cm 时分别提高 6.3%、11.2%、13.2%。化肥深施可延缓氮素释放,使玉米生育中后期氮、磷吸收量显著提升。

在山区化肥深施技术推广受机械化程度影响较大,特别是旱地零碎化、坡度大等障碍极度限制了玉米种植全程机械化水平,王迅德等[9]对恩施州山区玉米种植全程机械化的实施与应用有较全面的研究。然而,近年来国家加大了高标准农田建设和土地整治力度,大大提高了机械化作业面积和水平,将大幅度提高玉米单产和效益,促进该产业健康稳定发展,保障粮食安全。

化肥深施还要与测土配方施肥技术、缓控释肥的应用有机结合,根据土壤肥力水平优化氮磷钾配比,并针对性增施中微量元素肥料。进一步研究“深施 + 控释肥”“深施 + 中微量元素”等模式在玉米种植中的增产增收效果。并深入探索化肥深施对氮淋失、氨挥发或温室气体减排量的影响,评价化肥深施对改善生态环境的作用。通过精准配肥、控释供肥与深位施用的协同,形成一套高效施肥体系,显著提高肥料利用率和作物产量。

参考文献

- [1] 国家统计局. 国家统计局关于 2024 年粮食产量数据的公告[EB/OL]. 国家统计局. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202412/t20241213_1957744.html, 2024-12-13.
- [2] 湖北省统计局, 国家统计局湖北调查总队. 湖北省 2024 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 湖北省人民政府(统计公报). http://www.hubei.gov.cn/hbfb/sj/tjgb/202503/t20250324_5587240.shtml, 2025-03-24.
- [3] 周虹谕. 利川粮食种植面积和总产量稳居全州首位[EB/OL]. 云上恩施(社会). <https://estv.com.cn/sh/2963994.htm>, 2024-12-27.
- [4] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 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(5): 915-924.
- [5] 杨青林, 桑利民, 孙吉茹, 等. 我国肥料利用现状及提高化肥利用率的方法[J]. 山西农业科学, 2011, 39(7): 690-692.
- [6] 张志明. 化肥深施的益处及方法[J]. 新农业, 2020(10): 25.
- [7] 郑桂兰. 化肥深施试验总结[J]. 中国农业信息, 2016(7): 122-123.
- [8] 关霞. 氮肥机械深施技术对玉米的增产效果探析[J]. 现代农业科技, 2017(13): 59.
- [9] 王德迅, 梁华凤. 恩施州山区玉米种植全程机械化实施与应用[J]. 数字农业与智能农机, 2025(1): 32-35.