

耕地坡度对川中丘区玉米产量及氮肥利用率的影响

郭松¹, 周子军¹, 何明江¹, 陈琨¹, 彭全强², 黄耀蓉³, 钱建民³, 秦鱼生^{1*}

(1. 四川省农业科学院农业资源与环境研究所, 四川 成都 610066; 2. 乐至县农业农村局土肥站, 四川 资阳 641503; 3. 四川省耕地质量与肥料工作总站, 四川 成都 610045)

摘要:明确川中丘陵区坡耕地坡度对玉米产量及氮肥利用率的影响, 以期为川中丘陵坡耕地玉米合理施用氮肥提供科学依据。选取 2005—2012 年四川省丘陵区 353 组玉米“3414”测土配方施肥试验中不施氮 ($N_0P_2K_2$) 和推荐施氮 ($N_2P_2K_2$) 两个处理的数据, 将坡耕地坡度分为 $0^\circ \sim 2^\circ$ 、 $2^\circ \sim 5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 和 $15^\circ \sim 25^\circ$ 共 5 种类型。通过分析不同坡度下玉米产量、氮肥偏生产力、土壤肥力等指标, 明确不同坡度玉米的土壤养分供应特征、氮肥产量效应和推荐施用量。结果表明, $N_0P_2K_2$ 处理玉米产量随坡度增加逐渐降低, 5 种坡度下的平均产量为 $4260.7 \sim 4941.9 \text{ kg/hm}^2$; 施用氮肥后 ($N_2P_2K_2$) 玉米产量显著增加, 坡度由低到高的氮肥偏生产力依次为 35.3、30.3、33.1、31.5 和 28.7 kg/kg ; 在相同的目标产量下, 氮肥推荐用量依次为 217.4、230.3、228.09、227.7 和 233.4 kg/hm^2 。坡耕地土壤有机质、全氮和碱解氮含量随坡度增加而不断降低, 而土壤氮对玉米产量的贡献率也不断下降。整体上土壤氮对玉米产量的贡献率为 67.9%, 而氮肥贡献率为 32.1%。耕地坡度显著影响土壤养分供应、玉米产量和氮肥利用, 坡耕地基础地力对产量的贡献率大于施用氮肥贡献率, 因此生产中应根据不同坡度地力变化及施氮反应特征合理施用氮肥, 通过培肥地力, 降低氮肥用量, 提高产量水平和氮肥效率。

关键词: 玉米产量; 氮效率; 坡耕地; 土壤养分; 氮肥

川中丘陵区是我国重要的粮食生产区, 玉米是该区域旱坡地的主要作物。据四川统计局数据 (<http://tjj.sc.gov.cn/>) 显示 2020 年全省玉米产量 1065.0 万 t, 居全国第 8 位。在川中丘陵区, 氮肥是影响玉米生长和增产的最重要营养元素^[1-2]。由于其土壤类型主要为紫色土, 70% 以上的耕地坡度大于 10° ^[3], 土壤中有机质和氮含量较低, 加上水土流失严重等原因, 玉米季的氮肥农学效率只有 9.7 kg/kg ^[4-5]。而作为我国重要的粮食基地, 改善川中丘陵区坡耕地土壤质量, 优化氮肥用量, 提高玉米产量, 对维护我国粮食安全和降低农田温室气体排放具有重要意义。

坡耕地根据坡度有不同的分级方法, 一般认为坡度大于 25° 不再适合作为耕地^[6-7]。有研究发

现紫色土坡耕地的土壤肥力从坡底到坡顶逐渐降低^[1]。谢柠柠等^[8]也发现随坡度增加, 土壤有机碳及碳氮比逐渐降低。在红壤丘陵区, 土壤肥力变化趋势相同, 但坡度对土壤 pH 的影响不显著^[9]。据报道坡顶地玉米产量显著低于坝地, 同时施氮量高于坝地^[1]。化肥的不合理施用会导致紫色土质量的下降, 影响玉米生产力^[4, 10]。针对我国不同玉米生态区土壤养分变异, 通过推荐施肥及种植适宜品种、改良土壤肥力和改进施肥技术等手段提高玉米的产量和氮肥利用效率的研究已有诸多探索^[11-16]。

但是目前还没有针对紫色土坡耕地不同坡度下的玉米氮肥利用及土壤养分供应特征的报道。本研究通过整理 2005—2012 年四川省开展的国家测土配方施肥试验数据, 分析川中丘陵区坡度与土壤养分、氮肥施用以及玉米产量的关系, 以期为坡耕地的土壤培育以及玉米合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

如图 1 所示, 川中丘陵区主要分布在四川省的

收稿日期: 2022-07-05; 录用日期: 2022-08-20

基金项目: 四川省科技计划 (2020YFH0171); 国家重点研发计划 (2018YFD0200700); 四川省农业科学院人才基金 (2020BJRC005); 国家现代农业产业技术体系四川创新团队。

作者简介: 郭松 (1985-), 副研究员, 博士, 主要从事植物营养与养分资源高效利用研究。E-mail: guosong1999@163.com。

通讯作者: 秦鱼生, E-mail: shengyuq@126.com。

金堂县、蒲江县、龙泉驿区、中江县、罗江县、三台县、梓潼县、盐亭县、游仙区、射洪县、蓬溪县、大英县、安居区、船山区、威远县、隆昌县、资中县、东兴区、内江市中区、南部县、仪陇县、蓬安县、阆中市、高坪区、嘉陵区、西充县、顺庆区、营山县、武胜县、广安区、邻水县、岳池县、华莹市、渠县、大竹县、达县、宣汉县、开江县、通川区、简阳市、安岳县、雁江区、乐至县、泸

县、江阳区、纳溪区、龙马潭区、富顺县、荣县、沿滩区、大安区、贡井区、自流井区、平昌县、巴州区、犍为县、井研县、五通桥区、仁寿县、青神县、丹棱县、长宁县、宜宾县、翠屏区、南溪县、江安县、高县、名山县等 68 个县(市、区)。年均温 16 ~ 18℃, 10℃以上活动积温 5500 ~ 6000℃, 无霜期 280 ~ 350 d。年降水量 900 ~ 1000 mm, 冬干春旱明显。

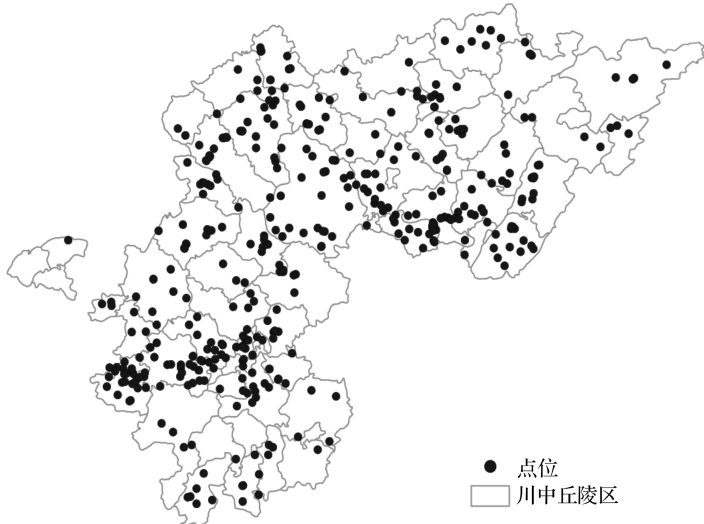


图 1 川中丘陵区点位分布图

本区土壤基本理化性质如下: 有机质平均含量为 15.2 g/kg, 全氮平均含量为 1.0 g/kg, 碱解氮平均含量为 93.1 mg/kg, 有效磷平均含量为 15.6 mg/kg, 速效钾平均含量为 98.3 mg/kg, pH 平均为 7.1 (土水比 1 : 2.5)。

1.2 试验设计

本研究整理 2005—2012 年国家测土配方施肥项目在川中丘陵区的玉米田间试验, 选取 353 组不施氮 (N₀P₂K₂) 处理和推荐施氮 (N₂P₂K₂) 处理。两个处理中, 除氮肥外, 磷肥和钾肥用量一致。氮肥平均用量为 220.9 kg/hm², 磷肥 (P₂O₅) 平均用量为 93.9 kg/hm², 钾肥 (K₂O) 平均用量为 82.9 kg/hm²。玉米品种为当地主栽品种, 其他栽培措施同当地习惯。试验处理设 3 个重复, 采用随机区组排列, 小区面积不小于 20 m²。

地面坡度根据耕地地力评价因子中的地面坡度数据收集。根据钱凤魁等^[7]方法, 将坡耕地分为 5 种类型: 0° ≤ I 类 < 2°, 2° ≤ II 类 < 5°, 5° ≤ III 类 < 8°, 8° ≤ IV 类 < 15°, 15° ≤ V 类 < 25°。其中 I 类数据 81 组, II 类数据 59 组, III 类数据 76 组, IV

类数据 92 组, V 类数据 45 组。

1.3 样品采集与测定

根据测土配方施肥技术规范, 在玉米播种前取 0 ~ 20 cm 土壤测定有机质、全氮、碱解氮和 pH。采用 S 形布点采样, 采用四分法保留混合后的原始样品 1 kg, 风干后的土样研磨过筛 (2 和 0.25 mm)。采用油浴加热、重铬酸钾氧化容量法测定有机质, 凯氏蒸馏法测定全氮, 碱解扩散法测定碱解氮, 电位法测定 pH (土水比 1 : 2.5)。在玉米收获后, 根据田块实际面积测定产量^[13]。

1.4 相关参数计算^[5, 17]

产量变异系数 (%) = 产量标准差 / 产量平均值 × 100
氮产量反应 (kg/hm²) = 施氮肥处理产量 - 不施氮肥处理产量

氮肥农学效率 (kg/kg) = (施氮肥处理产量 - 不施氮肥处理产量) / 氮肥施用量

氮肥偏生产力 (kg/kg) = 施氮肥处理产量 / 氮肥施用量

氮肥贡献率 (%) = (施氮肥处理产量 - 不施氮肥处理产量) / 施氮肥处理产量 × 100

土壤氮贡献率 (%) = 不施氮肥处理产量 / 施氮肥处理产量 × 100

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理, 用 SPSS 23 进行显著性分析, 用 SigmaPlot 10.0 和 Adobe Illustrator CS 11 作图。

2 结果与分析

2.1 耕地坡度与氮肥对玉米产量的影响

由图 2 可知, 耕地坡度与氮肥对玉米产量的影响显著。在不施氮肥条件下, I ~ V 类耕地的玉米

平均产量分别为 4941.9、4558.7、4940.0、4410.9 和 4260.7 kg/hm²。其中 I 与 III 类显著高于 IV 和 V 类, II 与 I、III 类差异不显著。在推荐施氮肥条件下, I 类地平均产量为 7130.9 kg/hm², II 类地平均产量为 6811.5 kg/hm², III 类地平均产量为 7193.5 kg/hm², IV 类地平均产量为 6748.0 kg/hm², V 类地平均产量为 6505.3 kg/hm²。I 与 III 类显著高于 V 类, II 和 IV 与其他类没有显著差异。由此可知, 随着坡度的增加, 玉米产量呈现下降趋势; 但是, 在任何坡度条件下, 施用氮肥均可以显著提高玉米产量。

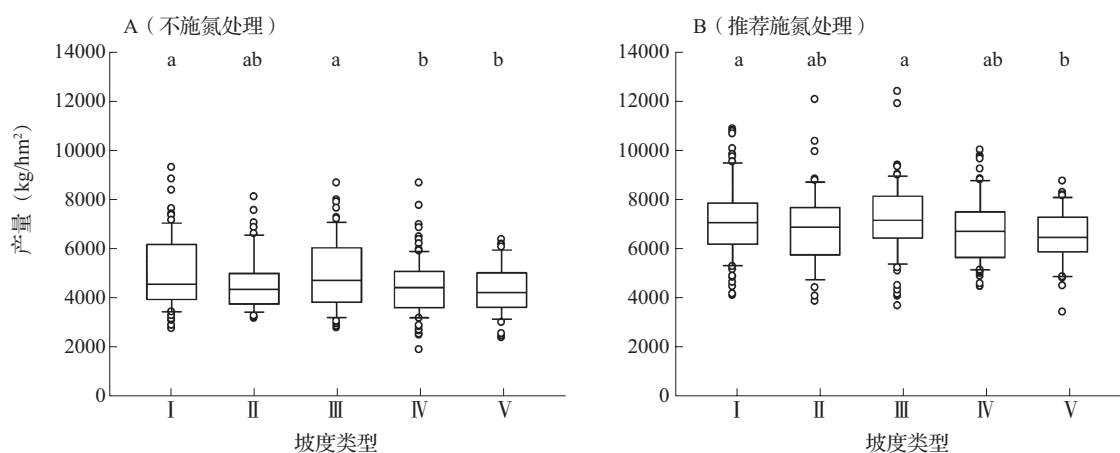


图 2 不同坡度下的产量效应

注: 不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平下具有显著性差异。

由图 2 可知 I ~ V 5 种地形下玉米产量的变化范围都较大, 其中不施氮处理产量分别为 2662.5 ~ 9319.5、3082.5 ~ 8104.5、2689.5 ~ 8680.5、1786.5 ~ 8679.0 和 2287.5 ~ 6340.5 kg/hm²。推荐施氮处理产量范围分别为 4029.0 ~ 10912.5、3786.0 ~ 12120.0、3600.0 ~ 12457.5、4395.0 ~ 10033.5 和 3340.5 ~ 8755.5 kg/hm²。而对产量变异系数的分析发现 (图 3), 不施氮处理 5 种坡度类型的产量变异系数范围为 42.6% ~ 49.4%, 其中 $V < IV < II < III < I$ 。施用氮肥后, 产量变异系数为 17.7% ~ 23.5%, 其中 $V < IV < III < I < II$ 。这说明施用氮肥能增加川中丘陵区旱坡地玉米产量的稳定性。

从各种坡度类型下的玉米推荐施氮量可以看出 (表 1), I 类最低, V 类最高。施用氮肥后, 5 种坡度耕地的氮产量反应均在 2000 kg/hm² 以上, 其中 $IV > III > II > V > I$ 。对氮肥农学效率的研究发现, V 类耕地为 9.7 kg/kg, 而其他 4 类耕地

均在 10.0 kg/kg 以上, 不同坡度类型耕地的氮肥农学效率排序为 $IV > II > I > III > V$ 。对氮肥偏生产力的研究发现, V 类耕地只有 28.7 kg/kg, 而其他 4 类耕地均在 30.0 kg/kg 以上, 不同坡度类型耕地的氮肥偏生产力排序为 $I > III > IV > II > V$ 。

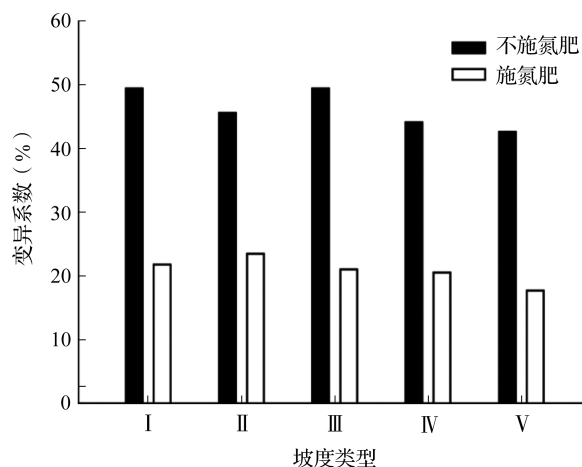


图 3 不同坡度下的产量变异系数

表 1 不同坡度下玉米产量的氮效应

坡度类型	施氮量 (kg/hm ²)	氮产量反应 (kg/hm ²)	氮肥农学效率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	土壤氮贡献率 (%)
I	217.4 ± 52.9a	2189.1 ± 1217.7a	10.4 ± 6.2a	35.3 ± 12.4a	69.7 ± 14.8a
II	230.3 ± 49.5a	2252.9 ± 1245.6a	10.8 ± 8.5a	30.3 ± 11.2bc	68.3 ± 14.5a
III	228.0 ± 50.3a	2253.5 ± 1200.7a	10.4 ± 6.0a	33.1 ± 10.3ab	68.9 ± 15.5a
IV	227.7 ± 53.7a	2365.3 ± 1199.0a	11.0 ± 6.0a	31.5 ± 10.5abc	65.7 ± 14.1a
V	233.4 ± 49.3a	2244.6 ± 1290.0a	9.7 ± 5.4a	28.7 ± 6.0c	66.7 ± 16.7a

注：同列不同字母表示在 $P<0.05$ 水平下具有显著性差异。

2.2 坡度对土壤有机质、养分、pH 的影响

土壤养分含量反映土壤肥力水平。在川中丘陵区，土壤养分变化很大，有机质含量在 0.7 ~ 35.6 g/kg 之间，全氮含量在 0.07 ~ 2.3 g/kg 之间，碱解氮含量在 8.0 ~ 249.0 mg/kg 之间（图 4）。

土壤有机质是反映土壤肥力质量的最重要指标。I ~ V 类土壤有机质平均含量分别为 15.8、

15.6、15.4、15.3 和 13.3 g/kg。全氮平均含量分别为 1.04、0.95、0.96、0.97 和 0.96 g/kg。碱解氮平均含量分别为 96.0、93.0、92.2、92.5 和 91.1 mg/kg。土壤 pH 在 4.1 ~ 9.9 之间，平均值分别为 7.1、7.4、7.0、6.9 和 7.0。说明随着坡度的增加，旱坡地土壤有机质、全氮和碱解氮含量呈下降趋势。

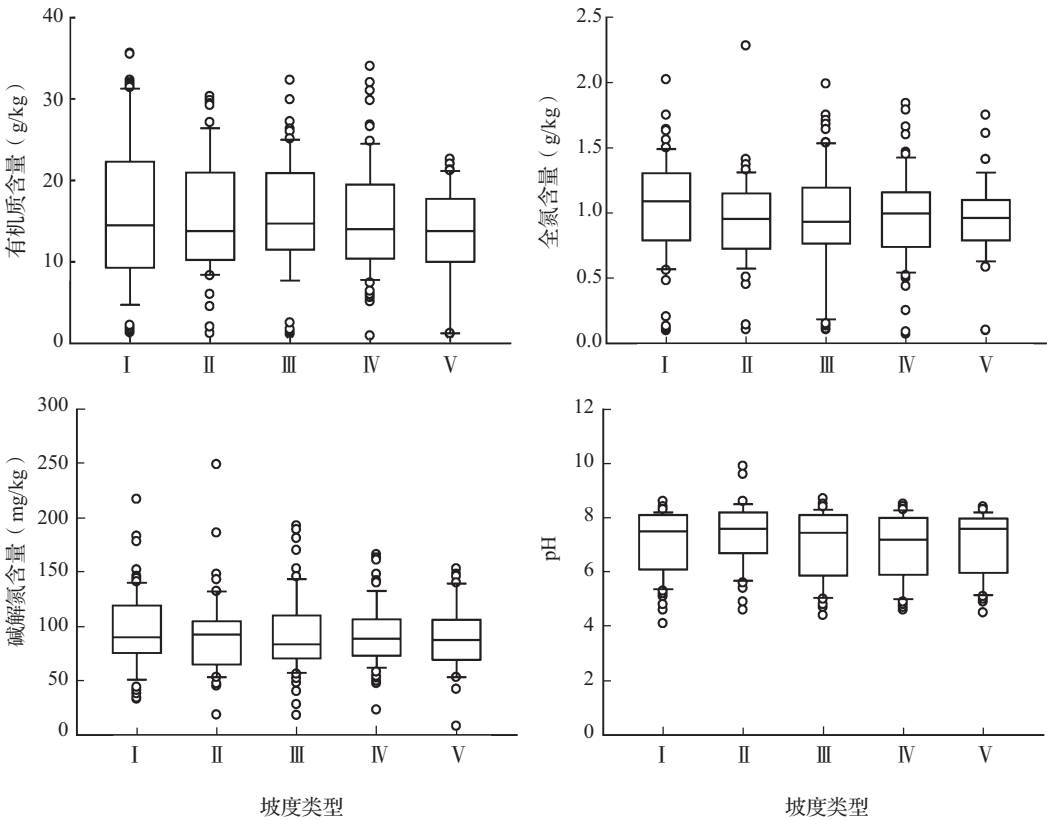


图 4 不同坡度的土壤有机质、养分、pH 变化

2.3 土壤基础供氮能力对玉米产量及氮肥贡献率的影响

不施氮肥处理玉米产量可以反映土壤基础供氮能力。如图 5A 所示，川中丘陵区玉米施氮产量与

不施氮产量呈显著正相关，随着基础产量的增加，施氮产量逐步提高。说明土壤基础供氮能力是施氮肥后玉米增产的重要基础。土壤氮贡献率中，I 类最高，III 类次之，而 IV 类最低。这说明平地或缓坡

旱耕地地力对产量的影响更大(表1)。

玉米氮肥贡献率与不施氮肥玉米产量的关系如图5B所示,随着基础产量的增加,氮肥贡献率逐

渐降低,呈显著负相关。以上结果说明,增加土壤氮素供应有利于施氮肥后玉米产量提高,同时可减少氮肥的施用。

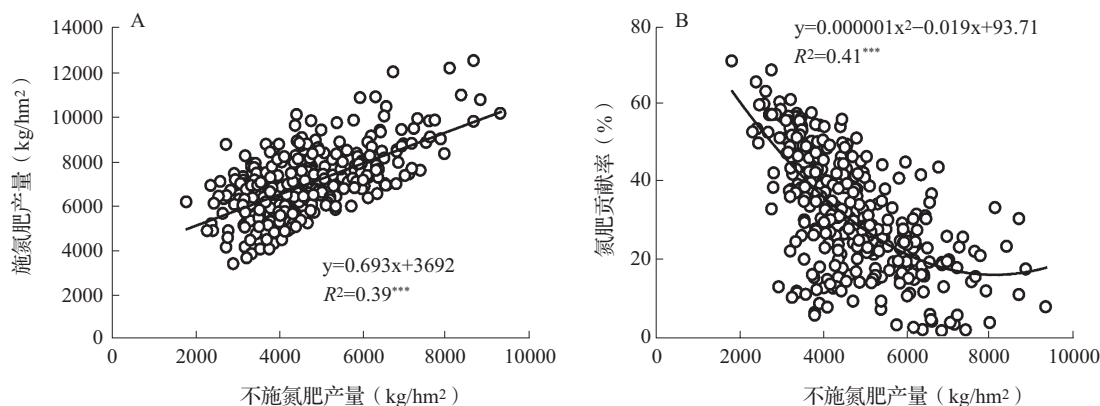


图5 玉米施氮肥产量、氮肥贡献率与不施氮肥产量关系

注:***表示在 $P<0.001$ 水平下具有显著性相关。

3 讨论

供应玉米生长和产量形成的氮素主要来自两部分:土壤中留存的氮和外源肥料供应的氮^[18]。在丘陵地区,土壤养分状况与坡度密切相关,而紫色土的特点是氮、磷和有机碳含量低^[16]。本研究中土壤的有机质、全氮、碱解氮平均含量分别为15.2 g/kg、1.0 g/kg和93.2 mg/kg(图4),均低于全国的平均水平^[19]。随着坡度的增加,土壤有机质、全氮和碱解氮含量呈下降趋势,尤其是V类地,下降幅度最大(图4)。川中丘陵区土壤氮对玉米产量的贡献率为67.9%,而氮肥贡献率为32.1%,这说明川中丘陵区旱坡地土壤地力是影响玉米产量的第一要素。土壤中氮对玉米产量的贡献率随着坡度的增加从69.7%逐渐下降到65.7%(表1)。因此提高土壤地力是玉米增产的重要途径。研究表明通过秸秆还田、增施有机肥等方法可以增加坡耕地地力水平,进而提高坡耕地玉米产量^[16]。但是坡度对土壤地力的影响需要进一步根据坡度差异来制订不同的培肥方案。

地力水平的降低导致需要施用更多的氮肥来增加产量。由表1可知,随坡度的增加,氮肥用量从217.4 kg/hm²增加到233.4 kg/hm²,氮肥用量增加7.4%。不施氮肥处理下玉米的平均产量分别为4941.9、4558.7、4940.0、4410.9和4260.7 kg/hm²,V类地较I类地产量降低13.8%。通过优化施用

氮肥后,5种坡度下的玉米平均产量分别7130.9、6811.5、7193.5、6748.0和6505.3 kg/hm²(图2)。丘陵区平均氮肥用量为226.6 kg/hm²,远高于我国东北、华北等玉米生态区氮肥推荐用量^[11-12]。5种类型耕地的氮肥平均推荐用量分别为217.4、230.3、228.0、227.7和233.4 kg/hm²。因此坡度越高,需要的氮肥用量越大,但是产量仍低于坡度低的耕地,原因可能是丘陵区地力中等偏下,以及水土流失、高温寡照等环境因素导致氮肥利用效率的降低^[3, 16]。

本研究中川中丘陵区玉米氮肥农学效率平均为10.5 kg/kg,与前人报道的结果基本一致^[5]。通过对坡耕地分级,我们发现V类耕地(15°~25°)的农学效率只有9.67 kg/kg,远低于其他4类,同时其氮肥偏生产力也是最低(表1)。说明由于坡度增加,水土流失加剧,导致氮肥利用率降低^[20-21]。同时由于复种指数高、人为扰动频繁,导致川中丘陵区坡耕地耕层质量退化严重^[22]。15°~25°坡耕地是土壤改良的重点,因为有机质含量越低,土壤可蚀性越大^[23]。在低肥力或者高肥力土壤上,选择适宜的氮高效品种,通过合理施肥可以达到增产和节氮增效的目的^[14, 20]。研究表明不同品种根系构型差异会导致玉米产量和吸氮量的差异。根系下扎能力强、氮素吸收能力强的品种更适宜在西南坡耕地种植^[2]。而选用缓控释肥料可以有效降低玉米季的氮素流失,提高氮肥利用率^[20-21]。

4 结论

川中丘陵区土壤氮对玉米产量的贡献率为67.9%，而氮肥贡献率为32.1%。基础地力随坡度增加而不断降低，导致土壤氮对产量的贡献率不断下降，因此氮肥施用量随坡度增加而不断升高。但是过高的氮肥用量导致氮肥利用效率的降低，尤其是15°~25°的这一类耕地，需要增加土壤有机质和氮的含量。因此生产中应根据不同坡度地力变化及施氮反应特征合理施用氮肥，通过培肥地力，配合有效的栽培措施，降低氮肥用量，提高产量水平和氮肥利用效率。

参考文献：

[1] 陈庆瑞, 冯文强, 涂仕华, 等. 四川盆中丘陵区不同台位旱坡地土壤养分状况研究 [J]. 西南农业学报, 2002, 15 (1): 74-78.

[2] Guo S, Liu Z G, Zhou Z J, et al. Root system architecture differences of maize cultivars affect yield and nitrogen accumulation in Southwest [J]. Agriculture, 2022, 12 (2): 209.

[3] 向宇国, 张丹, 陈凡, 等. 降雨和坡度对植烟坡耕地产流产沙的影响 [J]. 西南农业学报, 2021, 34 (5): 1121-1127.

[4] Cheng J H, Tang X Y, Cui J F. Effect of long-term manure slurry application on the occurrence of antibiotic resistance genes in arable purple soil (entisol) [J]. Sci Total Environ, 2019, 647: 853-861.

[5] 徐春丽, 谢军, 王珂, 等. 中国西南地区玉米产量对基础地力和施肥的响应 [J]. 中国农业科学, 2018, 51 (1): 129-138.

[6] 罗锡文. 对发展丘陵山区农业机械化的思考 [J]. 农机科技推广, 2011 (2): 17-20.

[7] 钱凤魁, 董婷婷, 王秋兵. 低山丘陵区不同坡度级耕地景观格局特征分析 [J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44 (6): 766-770.

[8] 谢柠杍, 王棋, 李冰, 等. 坡度和坡位对植烟坡地紫色土有机碳氮变化的影响 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30 (9): 2245-2252.

[9] 陈冲, 周卫军, 郑超, 等. 红壤丘陵区坡度与坡向对耕地土壤养分空间差异的影响 [J]. 湖南农业科学, 2011 (23): 53-56.

[10] 谢军, 方林发, 徐春丽, 等. 西南紫色土不同施肥措施下土壤综合肥力评价与比较 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (6): 1500-1507.

[11] 赵晴月, 许世杰, 张务帅, 等. 中国玉米主产区土壤养分的空间变异及影响因素分析 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (15): 3120-3133.

[12] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 等. 中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究 [J]. 土壤学报, 2015, 52 (4): 802-817.

[13] 王寅, 陈琪, 高强, 等. 氮肥用量对吉林省玉米产量和氮肥利用效率的影响 [J]. 玉米科学, 2016, 24 (5): 112-117.

[14] 郭松, 曾祥忠, 陈琨, 等. 川中丘区玉米氮高效品种筛选及增产潜力分析 [J]. 核农学报, 2020, 34 (11): 2569-2577.

[15] 刘海涛, 姚莉, 朱永群, 等. 深松和秸秆覆盖条件下紫色土坡耕地水分养分流失特征 [J]. 水土保持学报, 2018, 32 (6): 52-57, 165.

[16] Chen L, Wang X B, Zhou W, et al. Responses of crop yields, soil enzymatic activities, and microbial communities to different long-term organic materials applied with chemical fertilizer in purple soil [J]. European Journal of Soil Biology, 2021, 105: 103319.

[17] 王寅, 高强, 李翠兰, 等. 吉林省玉米施钾增产效应及区域差异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (8): 1335-1344.

[18] Good A G, Shrawat A K, Muench D G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? [J]. Trends in Plant Science, 2004, 9 (12): 597-605.

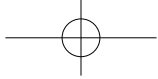
[19] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (17): 3557-3564.

[20] 罗付香, 刘海涛, 林超文, 等. 不同形态氮肥在坡耕地雨季土壤氮素流失动态特征 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (3): 12-20.

[21] 郭松, 喻华, 陈琨, 等. 稳定性尿素对川中丘陵区小麦/玉米轮作制度下作物产量及氮肥利用率的影响 [J]. 西南农业学报, 2018, 31 (5): 1006-1012.

[22] 叶青. 紫色土坡耕地耕层土壤属性的侵蚀响应及恢复效应 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.

[23] 薛永伟, 王茹. 紫色土丘陵区不同土地利用条件土壤的腐蚀性K值 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (11): 488-491.



Effects of gradients on maize yield and nitrogen use efficiency in slop cropland of central Sichuan basin

GUO Song¹, ZHOU Zi-jun¹, HE Ming-jiang¹, CHEN Kun¹, PENG Quan-qiang², HUANG Yao-rong³, QIAN Jian-min³, QIN Yu-sheng^{1*} (1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu Sichuan 610066; 2. Lezhi Agricultural and rural Bureau, Soil and Fertilizer Station, Ziyang Sichuan 641503; 3. General Station of Arable Soil Quality and Fertilizer of Sichuan Province, Chengdu Sichuan 610045)

Abstract: The present study was used to determine the effects of gradients on maize yield and nitrogen use efficiency in slop cropland, which provided a scientific basis for the rational application of nitrogen (N) for maize in hilly and sloping farmland in central Sichuan. The 353 data were collected of no N application ($N_0P_2K_2$) and recommended N application ($N_2P_2K_2$) in maize “3414” fertilization experiments in central Sichuan basin during 2005—2012. The slopes of cropland were divided into 5 types: $0^\circ - 2^\circ$, $2^\circ - 5^\circ$, $5^\circ - 8^\circ$, $8^\circ - 15^\circ$ and $15^\circ - 25^\circ$. By analyzing maize yield, partial factor productivity from applied N (PFPN), soil fertility under different slopes, the characteristics of soil nutrient supply, yield effects of nitrogen fertilizer and recommended application amount for maize on different slopes were clarified. The results showed that the yield of $N_0P_2K_2$ treatment was decreased gradually with the increase of slope, and the average yield under the five slopes was $4260.7 - 4941.9 \text{ kg/hm}^2$. After applying N fertilizer ($N_2P_2K_2$), the yield of maize was increased significantly, and the PFPN from low slope to high slope was 35.3, 30.3, 33.1, 31.5 and 28.7 kg/kg , respectively. Under the same target yield, the recommended amount of nitrogen fertilizer was 217.4, 230.3, 228.0, 227.7 and 233.4 kg/hm^2 . The contents of soil organic matter, total N and alkali hydrolyzable N were decreased with the increase of slope, and the contribution rate of soil N to maize yield was also decreased. On the whole, the contribution rate of soil N to maize yield was 67.9%, while the contribution rate of N fertilizer was 32.1%. The slope of cultivated land significantly affected soil nutrient supply, maize yield and N fertilizer utilization. The contribution rate of basic soil fertility to yield was greater than that of N fertilizer application. Therefore, N fertilizer should be applied reasonably according to the change of soil fertility and the response characteristics of N fertilizer application in production. Through improving soil fertility and reducing the amount of N fertilizer, the yield and N fertilizer use efficiency can be increased.

Key words: maize yield; nitrogen use efficiency; slop cropland; soil nutrients; nitrogen