

不同施肥量对贵州高产玉米养分吸收、生物性状、产量及品质的影响

安江勇^{1,3}, 肖厚军¹, 秦松¹, 苟久兰¹, 郑常祥², 祝云芳², 李渝¹, 赵欢^{1*}, 张萌¹

(1. 贵州省土壤肥料研究所/农业部贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵州 贵阳 550006; 2. 贵州省旱粮研究所, 贵州 贵阳 550006; 3. 贵州师范大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 在贵州黄壤地区开展了以玉米品种(“金玉506”和“黔单24”)为主区, 不同施肥量为副区处理的大田裂区试验, 探讨贵州两种高密度栽培品种玉米的产量、生物性状、养分吸收和品质对不同施肥量的响应。结果表明: 不同施肥量对玉米品种产量有显著影响。“金玉506”产量随施肥量的增加呈先增加后降低的趋势, 以常规密度种植推荐施肥量增量15%处理产量最高, 达10 229.3 kg/hm²; 而“黔单24”略有不同, 其产量随施肥量增加呈降低趋势, 以推荐施肥量处理最高, 为9 434.1 kg/hm²。从产量构成因素看, 品种与施肥量对玉米穗粗和千粒重有显著影响, 两种玉米品种的千粒重随施肥量增加均呈增加趋势, 增幅分别为2.2%~10.3%和3.2%~6.8%。在生物性状方面, “金玉506”以推荐施肥量增量15%处理玉米的株高、穗位高和茎粗最优, 分别为308.5、130.4和2.6 cm; 而“黔单24”以推荐施肥量处理株高、穗位高和茎粗达最大, 分别为311.6、138.0和2.43 cm。从养分吸收看, 品种和施肥量对玉米植株的养分吸收有显著影响, 其中“金玉506”植株氮、磷和钾的吸收量均随施肥量的增加而增加, 增幅分别为24.8%~32.7%、44%~47.8%和5.9%~45.6%; 而“黔单24”植株氮、磷和钾吸收量均随施肥量的增加而降低, 降幅分别为3.8%~13%、11.8%~23.5%和3.9%~15%。在品质方面, 合理施肥量有利于提高玉米的淀粉和粗蛋白含量, 而过高施肥量会导致玉米品质的降低。因此, 根据不同玉米品种的养分需求规律进行科学合理的施肥有利于促进玉米的养分吸收, 提高产量和改善品质。

关键词: 肥料; 玉米产量; 养分吸收量; 品质

中图分类号: S513; S143.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)03-0073-07

玉米是我国重要的粮食作物之一, 具有较大的增产潜力。目前, 随着人口的增长及耕地面积的减少, 玉米在作物生产中的地位变得更加重要。追求玉米高产甚至超高产是农学家一直追求的目标, 亦是国家粮食战略的重要需求。在玉米生产种植中, 品种、施肥、气候条件、土壤肥力、种植密度等均能影响玉米的产量水平, 其中品种是决定玉米产量的基础, 而不同玉米品种耐肥性不同, 对养分的需求有一定差异^[1]。施肥能提高玉米产量, 根据不同

玉米品种合理施肥和密植是实现玉米高产和超高产的重要措施之一^[2-3]。

贵州地处我国西南高原山区玉米中心地带, 是典型的喀斯特高海拔黄壤山区, 土壤肥力较低。玉米在全省粮食生产、饲料生产和酿酒业中占有十分重要的地位。贵州省常年玉米种植面积在67万hm²左右, 约占贵州粮食播种面积的1/4, 玉米总产占贵州粮食总产的26%左右, 因此玉米生产发展的快慢在全省粮食生产中有着举足轻重的作用^[4]。目前在贵州黄壤地区盲目大量施用化肥现象普遍, 在玉米生产中以追求高产而盲目大量施肥会造成肥料损失严重, 既降低了经济效益, 又对生态环境产生负面影响^[5-8]。

近年来有大量研究探讨了合理施肥对玉米产量、品质及肥料利用率的影响^[9-11], 然而在贵州喀斯特黄壤地区研究在高密度种植下不同肥料用量对高密种植玉米品种的产量、生物性状、养分吸收量和品质等指标的影响却鲜见报道。因此,

收稿日期: 2015-09-29; 最后修订日期: 2016-01-03

基金项目: 贵州省玉米现代农业产业技术体系建设项目(GZCYTX2013-0702); 贵州省联合基金项目黔科合LH字(2014)7706号; 贵州省农业资源高效利用技术创新平台建设2012.8中央补助地方能力(2012)4003; 贵州山区耕地保育与农业环境科学观测试验站建设2013.10黔科平台(2013)4002。

作者简介: 安江勇(1990-), 男, 贵州铜仁人, 在读硕士, 主要从事植物营养资源利用研究。E-mail: 473225337@qq.com。

通讯作者: 赵欢, E-mail: zhaohuancnm@163.com。

本文以贵州地区两种超高产杂交玉米品种“金玉506”和“黔单24”为供试材料,采用双因素裂区试验,探讨了贵州黄壤地区两种高密度种植玉米品种在不同施肥量下玉米产量、产量构成要素、生物性状、养分吸收量和品质的差异性及其主导影响因素,以期得出不同玉米品种在贵州黄壤地区最佳的肥料用量,从而提高经济效益,减少环境污染,为贵州喀斯特黄壤地区高产玉米的种植提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为黄泥土,其0~20 cm土层的基本农化性状:pH值5.4,有机质25.75 g/kg,全氮1.35 g/kg,全磷(P)0.64 g/kg,全钾(K)19.15 g/kg,碱解氮116.2 mg/kg,有效磷(P)10.0 mg/kg,速效钾(K)109.8 mg/kg,缓效钾(K)206.1 mg/kg。

1.2 试验方法

田间小区试验于2014年6月9日至10月10日在花溪区湖潮乡进行,位于北纬26°30'11"、东经106°39'26",海拔1100 m,属亚热带湿润季风气候,试验当年雨量充沛。供试玉米品种为“金玉506”和“黔单24”。试验采用双因素裂区试验设计,主区为两种玉米品种:“金玉506”(C1)和“黔单24”(C2)。副区为常规密度种植推荐施肥量(T1),推荐施肥增量15%(T2),推荐施肥增量30%(T3);小区面积为3 m×6 m=18 m²。设6个处理(表1),3次重复。

表1 试验处理和施肥量 (kg/hm²)

| 品种 | 处理 | 基施 复合肥 (15-15-15) | 追肥 | | | |
|----|----|-------------------------|-------|-------|------|-------|
| | | | 第1次 | 第2次 | 第3次 | |
| | | | 尿素 | 尿素 | 尿素 | 硫酸钾 |
| C1 | T1 | 750 | 150 | 375 | 75 | 150 |
| | T2 | 862.5 | 172.5 | 432 | 87 | 172.5 |
| | T3 | 975 | 195 | 487.5 | 97.5 | 195 |
| C2 | T1 | 750 | 150 | 375 | 75 | 150 |
| | T2 | 862.5 | 172.5 | 432 | 87 | 172.5 |
| | T3 | 975 | 195 | 487.5 | 97.5 | 195 |

供试肥料为复合肥(氮磷钾养分比例为15-15-15)、尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和硫酸钾(K₂O 50%),分基肥、追肥(苗

期、拔节期和灌浆期3个时期)施用,具体施肥量见表1。栽培密度63 000株/hm²,行距0.6 m,窝距0.26 m。收获后取样测定玉米的产量、产量构成要素、生物性状、植株各部位的养分含量、养分吸收量和籽粒的品质。

1.3 测定内容和方法

1.3.1 土壤理化性状

pH值采用电位法,水土比2.5:1;有机质采用重铬酸钾外加热法;全氮用半微量凯氏法;全磷用碳酸钠熔融,钼锑抗显色分光光度法;全钾用碳酸钠熔融,火焰光度法;碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用NaHCO₃法;速效钾和缓效钾采用火焰光度法。

1.3.2 玉米生物性状和产量

玉米收获期在各小区分别采集8株具有代表性的植株室内考种,测定玉米籽粒含水量、玉米株高、穗位高、茎粗、穗粗、穗行数、行粒数、穗长、秃尖长和千粒重等指标,各小区按实收株数计产,最后换算成公顷产量。

1.3.3 养分含量和品质

将植株籽粒、玉米芯、秸秆和叶片烘干后磨碎成粉,过0.2 mm筛,用浓H₂SO₄-H₂O₂消煮,氮采用凯氏法测定,磷采用钒钼蓝比色法测定,钾采用火焰光度法测定。还原糖采用3,5-二硝基水杨酸分光光度法,淀粉采用蒽酮法,粗蛋白采用凯氏法测定后换算。

1.4 数据分析方法

采用Excel 2010和DPS 7.5数据统计分析软件对结果进行裂区试验方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 品种和施肥量对玉米产量及产量构成要素的影响

由表2可知,施肥量对不同品种玉米产量的影响达到显著水平,C1产量随施肥量的增加呈现先增加后降低的趋势,以C1T2产量最高,达10 229.3 kg/hm²,比产量最低处理C1T1增产35.1%;C2产量随施肥量增加而降低,以C2T1产量最高,为9 434.1 kg/hm²,比C1T1增产28.3%。从品种来看,品种对玉米产量的影响未达到显著水平,在相同施肥量下两种高产玉米品种产量差异显著,但在不同施肥水平下两种玉米品种均能达到高产水平。

表 2 不同处理玉米产量及产量构成要素

| 品种 | 处理 | 穗粗 (cm) | 穗行数 | 行粒数 | 穗长 (cm) | 秃尖长 (cm) | 千粒重 (g) | 产量 (kg/hm ²) |
|-------|----|-----------------|-------------|--------------|---------------|----------------|------------------|--------------------------|
| C1 | T1 | 5.21 ± 0.46abAB | 14 ± 1.06aA | 30 ± 5.10bA | 17.7 ± 2.35aA | 3.18 ± 1.15aA | 152.7 ± 1.91bcBC | 7 352.8 ± 591cC |
| | T2 | 5.29 ± 0.14abAB | 14 ± 1.51aA | 35 ± 5.19abA | 19.3 ± 1.63aA | 2.91 ± 1.16abA | 156.6 ± 1.98bB | 10 229.3 ± 796aA |
| | T3 | 5.55 ± 0.456aA | 15 ± 1.41aA | 36 ± 7.77abA | 19.8 ± 2.69aA | 1.84 ± 1.73bA | 168.5 ± 1.71aA | 8 451.5 ± 537bBC |
| C2 | T1 | 5.01 ± 0.20bB | 14 ± 1.67aA | 40 ± 3.35aA | 19.4 ± 1.88aA | 1.99 ± 0.48abA | 140.6 ± 1.12cE | 9 434.1 ± 507aAB |
| | T2 | 4.97 ± 0.34bB | 14 ± 1.41aA | 34 ± 8.66abA | 17.8 ± 3.39aA | 2.13 ± 0.75abA | 145.1 ± 0.62dDE | 7 559.9 ± 112bcC |
| | T3 | 5.17 ± 0.27bAB | 15 ± 1.41aA | 37 ± 6.99abA | 19.2 ± 2.56aA | 2.36 ± 0.97abA | 150.2 ± 1.70cCD | 8 331.1 ± 504bcBC |
| F 值 | | | | | | | | |
| C | | 13.73 * | 0.28 | 6.25 * | 0.83 | 1.89 | 362 ** | 11.30 |
| T | | 2.35 ** | 1.08 | 0.54 | 0.71 | 1.08 | 173 ** | 44.38 * |
| C × T | | 0.27 | 0.12 | 4.06 * | 1.43 | 3.17 | 14.23 * | 13.13 ** |

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha = 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($\alpha = 0.01$)，下表同。*、** 分别表示 0.05 和 0.01 水平上差异显著，下表同。

在产量构成要素方面，由表 2 可知，品种与施肥量对玉米的产量构成要素的影响达到显著水平，施肥量对玉米的穗粗有极显著的影响，C1 穗粗随施肥量的增加而增加，增幅为 1.5% ~ 6.5%，C2 穗粗表现为先降低后增加的趋势，但各施肥处理间差异未达到显著水平；玉米品种对穗粗的影响也达到显著水平，在相同施肥量下 C1 穗粗均大于 C2，以 C1T3 最大，为 5.55 cm，比最低的 C2T1 处理增加 0.54 cm。在千粒重方面，品种、施肥量对玉米千粒重的影响均达到显著水平，两种玉米品种千粒重均随施肥量增加而增加，增幅分别为 2.2% ~ 10.3%、3.2% ~ 6.8%，在同等施肥量下 C1 的千粒重均优于 C2，以 C1T3 最大，达每千粒 168.5 g，比 C2T1 增加 19.8%。此外，不同玉米品种行粒数对施肥量的响应差异显著，以 C2T1 最多，为 40 粒/行。品种与施肥量对玉米的穗行数、穗长、秃尖长的影响均未达到显著水平。不同处理间穗行数和穗长均无显著差异，秃尖长以 C1T3 最短，但与其他处理比较差异未达到显著水平。

2.2 品种和施肥量对玉米生物性状的影响

由表 3 可见，品种和施肥量都对玉米的生物性状有一定的影响，不同处理间玉米生物性状差异达到显著水平，C1 株高、穗位高、茎粗随着施肥量的增加呈先增加后下降趋势，以 C1T2 玉米的株高、穗位高和茎粗最优，分别为 308.5、130.4 和 2.60 cm；C2 株高、穗位高、茎粗随着施肥量的增加先减小后增高，但总体呈降低趋势，以 C2T1 株高、穗位高和茎粗最大，分别为 311.6、138.0 和 2.43 cm，这与两种玉米品种产量最高的施肥处理相一致。从施肥方面来看，施肥量对玉米株高和穗位高

有显著影响；从品种来看，品种对玉米穗位高和茎粗的影响均达到极显著水平，同等施肥条件下各处理中 C2 穗位高均高于 C1。

表 3 不同处理玉米生物性状 (cm)

| 品种 | 处理 | 株高 | 穗位高 | 茎粗 |
|-------|----|------------------|-----------------|-----------------|
| C1 | T1 | 300.4 ± 10.8abcA | 121.6 ± 12.5bB | 2.40 ± 0.15bB |
| | T2 | 308.5 ± 12.2abA | 130.4 ± 7.7abAB | 2.60 ± 0.03aA |
| | T3 | 294.8 ± 28.0abcA | 120.6 ± 10.8bB | 2.31 ± 0.04bcBC |
| C2 | T1 | 311.6 ± 11.5aA | 138.0 ± 11.7aA | 2.43 ± 0.03bB |
| | T2 | 287.6 ± 14.5cA | 134.0 ± 9.2aAB | 2.20 ± 0.03cC |
| | T3 | 291.1 ± 13.5bcA | 121.9 ± 11.2bB | 2.41 ± 0.01bB |
| F 值 | | | | |
| C | | 0.63 | 3.67 * | 40.23 * |
| T | | 1.66 * | 5.88 ** | 0.89 |
| C × T | | 3.5 | 2.94 | 23.80 ** |

2.3 品种和施肥量对玉米养分含量的影响

籽粒是吸氮和吸磷的主体，秸秆是吸钾的主体^[12]。由表 4 可知，品种和施肥量对玉米各部位养分含量均有显著影响。在氮含量方面，施肥量影响氮的吸收，籽粒氮含量均随施肥量的增加养分含量逐渐增大，同时品种对籽粒和叶片的氮含量也有显著影响，在同等施肥量水平下 C2 氮含量均大于 C1，以 C2T3 最大，为 14.89 g/kg，叶片含氮量也有同样的规律，同等施肥量下 C2 叶片氮含量方面均高于 C1 且差异显著；从植株不同部位磷含量来看，品种和施肥量对玉米秸秆和叶片的磷含量的影响达到显著水平，同等施肥条件下 C1 秸秆磷含量均高于 C2，而 C2 叶片磷含量显著大于 C1；在钾含量方面，品种、施肥量对玉米钾含量的影响均达到极显著水平，C1 叶片钾含量显著大于 C2。

表4 不同处理玉米的养分含量 (g/kg)

| 品种 | 处理 | N | | | | P | | | | K | | | |
|-------|----|----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|
| | | 籽粒 | 玉米芯 | 秸秆 | 叶片 | 籽粒 | 玉米芯 | 秸秆 | 叶片 | 籽粒 | 玉米芯 | 秸秆 | 叶片 |
| C1 | T1 | 12.36 ± 0.01bB | 3.49 ± 0.00aA | 6.65 ± 0.65aA | 16.18 ± 0.62bA | 2.50 ± 0.10bA | 0.030 ± 0.005aAB | 0.41 ± 0.01aA | 0.17 ± 0.01cC | 1.99 ± 0.09bB | 6.15 ± 0.03bB | 13.44 ± 0.22cC | 6.58 ± 0.30aA |
| | T2 | 12.57 ± 0.36bB | 4.12 ± 0.64aA | 6.87 ± 0.38aA | 15.95 ± 1.34bA | 3.18 ± 0.16bA | 0.028 ± 0.001abAB | 0.43 ± 0.02aA | 0.15 ± 0.01cC | 2.38 ± 0.08aA | 6.87 ± 0.31aA | 18.07 ± 0.20aA | 4.84 ± 0.12cC |
| | T3 | 12.79 ± 0.36bB | 3.49 ± 0.00aA | 4.12 ± 0.01dC | 14.27 ± 0.02cB | 2.76 ± 0.63cB | 0.023 ± 0.001bB | 0.28 ± 0.02bB | 0.14 ± 0.01cC | 1.92 ± 0.02bB | 4.59 ± 0.18deD | 5.98 ± 0.08fF | 6.07 ± 0.14bB |
| C2 | T1 | 14.87 ± 0.01aA | 4.76 ± 0.00aA | 5.81 ± 0.38bAB | 16.81 ± 0.62abA | 2.98 ± 0.50abA | 0.034 ± 0.000aA | 0.33 ± 0.02bB | 0.26 ± 0.01aA | 2.02 ± 0.02bB | 4.50 ± 0.10eD | 14.67 ± 0.05bB | 3.64 ± 0.14eE |
| | T2 | 14.47 ± 0.37aA | 4.75 ± 1.67aA | 5.18 ± 0.36cB | 17.74 ± 0.32aA | 2.58 ± 0.05aA | 0.024 ± 0.004bB | 0.29 ± 0.04bB | 0.26 ± 0.02aAB | 1.66 ± 0.03cC | 4.97 ± 0.10cdCD | 10.18 ± 0.26eE | 4.28 ± 0.06dD |
| | T3 | 14.89 ± 0.03aA | 4.11 ± 0.00aA | 4.12 ± 0.01dC | 16.17 ± 0.03bA | 2.65 ± 0.14bA | 0.034 ± 0.006aA | 0.28 ± 0.05bB | 0.23 ± 0.02bB | 1.68 ± 0.03cC | 5.30 ± 0.36cC | 11.11 ± 0.09dD | 4.96 ± 0.04cC |
| F 值 | | | | | | | | | | | | | |
| C | | 1 141 * | 16.32 | 17.33 | 49.25 * | 1.46 | 1.03 | 245.63 ** | 86.17 * | 128.16 ** | 696.97 ** | 1 076.90 ** | 297.15 ** |
| T | | 1.75 | 1.13 | 7 367 ** | 13.29 ** | 0.40 | 5.85 | 12.19 ** | 10.93 ** | 37.16 ** | 29.00 ** | 2 948.10 ** | 77.28 ** |
| C × T | | 1.64 | 0.39 | 9.23 ** | 2.26 | 3.41 | 7.30 | 6.18 * | 1.53 | 87.55 ** | 62.84 ** | 3 208.81 ** | 130.66 ** |

2.4 品种和施肥量对玉米养分吸收量的影响

由表5可知,品种、施肥量对玉米植株氮和钾养分吸收量均有极显著的影响,不同玉米品种磷吸收量对施肥量的响应达到显著水平。本试验中,玉米植株养分吸收特性为吸氮量 > 吸钾量 > 吸磷量,这与多数研究结果相一致^[13-14]。C1 氮、磷、钾吸收量随施肥量的增加而增加,增幅分别为 24.8% ~ 32.7%、44% ~ 47.8% 和 5.9% ~ 45.6%, C2 氮、磷、钾整株吸收量均先减小后增加,但总体来看,其吸收量呈下降趋势,降幅分别为 3.8% ~ 13%、11.8% ~ 23.5% 和 3.9% ~ 15%。这也与产量变化趋势相同。

表5 不同处理玉米植株的养分吸收量 (g/株)

| 品种 | 处理 | N | P | K |
|-------|----|-----------------|------------------|------------------|
| C1 | T1 | 2.66 ± 0.01eE | 0.389 ± 0.02bB | 0.982 ± 0.03cdC |
| | T2 | 3.32 ± 0.07cC | 0.560 ± 0.03aA | 1.430 ± 0.03aA |
| | T3 | 3.53 ± 0.07abAB | 0.575 ± 0.13aA | 1.040 ± 0.01bB |
| C2 | T1 | 3.61 ± 0.03aA | 0.558 ± 0.09aAB | 1.010 ± 0.01bcBC |
| | T2 | 3.14 ± 0.05dD | 0.427 ± 0.01bAB | 0.859 ± 0.00eD |
| | T3 | 3.47 ± 0.00bB | 0.492 ± 0.03abAB | 0.970 ± 0.01dC |
| F 值 | | | | |
| C | | 161 ** | 2.03 | 123 ** |
| T | | 100 ** | 0.79 | 820 ** |
| T × C | | 222 ** | 10.10 * | 690 ** |

2.5 品种和施肥量对玉米品质的影响

由表6可知,不同玉米品种还原糖含量对施肥量响应的差异达到显著水平,品种、施肥量对玉米淀粉和粗蛋白含量有极显著影响,从施肥量角度来看,C1 淀粉和粗蛋白含量随着施肥量的增加呈增加趋势,增幅分别为 10.8% ~ 22.4%、1.8% ~ 6.6%,还原糖含量逐渐降低;C2 淀粉含量先增加后降低,粗蛋白含量呈“V”字形变化趋势,还原糖含量随施肥量增加而逐渐增加,但差异未达到显著水平,总体来看,淀粉、粗蛋白和还原糖含量都呈增加趋势。从品种来看,玉米品种对淀粉和粗蛋白含量有显著影响,同等施肥量下各处理中粗蛋白含量均是 C2 > C1, C2T3 处理含量最高,为 9.31%。

表6 不同处理玉米品质的变化 (%)

| 品种 | 处理 | 还原糖 | 淀粉 | 粗蛋白 |
|-------|----|-----------------|-----------------|---------------|
| C1 | T1 | 32.9 ± 0.63aAB | 63.0 ± 1.07dD | 7.72 ± 0.01dD |
| | T2 | 32.4 ± 0.34abAB | 69.8 ± 0.19cC | 7.86 ± 0.23dD |
| | T3 | 31.3 ± 0.87bB | 77.1 ± 2.31aA | 8.13 ± 0.00cC |
| C2 | T1 | 32.2 ± 0.64abAB | 68.7 ± 0.73cC | 9.30 ± 0.01aA |
| | T2 | 32.3 ± 0.32abAB | 75.6 ± 1.20abAB | 8.91 ± 0.01bB |
| | T3 | 33.1 ± 0.49aA | 73.4 ± 1.13bB | 9.31 ± 0.02aA |
| F 值 | | | | |
| C | | 0.80 | 18.96 ** | 783.54 ** |
| T | | 0.91 | 70.29 ** | 19.17 ** |
| C × T | | 11.16 * | 21.77 ** | 12.61 ** |

3 讨论与结论

3.1 品种和施肥量对玉米产量及产量构成因素的影响

品种和施肥量是玉米高产的主要影响因素,合理施肥能显著提高玉米籽粒产量,增幅在 13.4% ~ 168.8%^[15]。本试验中不同品种玉米产量对施肥量的响应差异达到显著水平,在贵州黄壤地区高密度种植下“金玉 506”产量随施肥量的增加呈现先增加后降低的趋势,以推荐施肥量增量 15% 条件下产量最高。“黔单 24”产量随施肥量增加呈降低趋势,以推荐施肥量下产量最高,表明两种玉米品种在贵州黄壤地区均能达到高产水平,但其最佳施肥量不同,过量施肥不仅没有明显的增产效果,反而使产量降低,这与姜涛^[16],王西娜等^[17]研究结果相一致,因此在玉米的生产中要根据不同玉米品种的营养吸收特性和需肥量进行合理施肥以提高产量。

已有研究表明:在高产水平下,影响产量的主要因素是生育期、穗粗、行粒数、千粒重等^[18]。本试验中“金玉 506”穗粗、穗行数、行粒数、穗长呈增加趋势,秃尖长呈降低趋势。“黔单 24”穗粗、行粒数、穗长呈先降低后增高趋势,穗行数、秃尖长呈升高趋势,玉米穗部性状优劣是影响玉米单株产量的主要因素,单株产量决定玉米产量水平,因此玉米穗部性状较优的处理产量也比较高。品种与施肥量对两种高产玉米品种的穗粗和千粒重有显著或极显著影响,千粒重的大小反应玉米籽粒的饱满程度,在其他产量构成因素差异不显著的情况下千粒重越重玉米产量越高,表明品种差异和施肥量主要通过增加玉米穗粗和千粒重来提高玉米产量。在本试验中,产量构成要素随着施肥量的增加而增加,表明施肥能影响玉米的产量构成要素从而间接影响玉米的产量水平。但是超过该品种的最佳施肥量后籽粒产量增长不显著,且投入产出比减小,这与黄光和等^[19]研究结果一致。

3.2 品种和施肥量对玉米生物性状的影响

作物的高产以较高的生物量为前提,生物量与产量有密切关系,肥料因子并不改变其生长模型,但可以影响特征参数^[20]。杨今胜等^[21]研究表明,玉米生物性状的优劣影响植株在光合作用方面是否占有优势以及抗病、抗倒伏能力,为玉米的高产稳产提供保障。本研究中,施肥量对玉米穗位高和茎

粗有极显著影响,随着施肥量的增加,“金玉 506”株高、穗位高、茎粗呈先增加后降低趋势,推荐施肥增量 15% 下玉米的株高、穗位高和茎粗最优;“黔单 24”株高、茎粗呈先降低后增加趋势,穗位高呈降低趋势,推荐施肥量下株高、穗位高和茎粗达最大,这与两种玉米品种的产量变化规律相一致,表明生物性状较优的处理玉米产量也最大,施肥能影响品种间的生物性状优劣从而间接影响玉米的产量水平。

3.3 品种和施肥量对玉米养分含量和吸收量的影响

玉米的养分含量取决于养分吸收量和干物质积累,干物质积累与养分吸收是籽粒产量形成的物质基础^[22-24]。姜涛^[16],王宜伦等^[25]研究发现在一定施氮量范围内,适当增加施氮量能显著增加玉米籽粒中的养分含量,但过多施用氮肥反而使养分含量降低。本试验中玉米植株氮、磷、钾的吸收量对施肥量的响应差异达到显著水平,不同玉米品种不同部位对养分吸收和积累均有差异,“金玉 506”养分吸收量随施肥量增加而增加,“黔单 24”随施肥量增加而减小,这可能与玉米品种的需肥量不同有关,“金玉 506”在推荐施肥增量 15% 下达到其最大产量,推荐施肥增量 30% 仍在其耐肥范围,故养分吸收量仍然增加,但产量下降;但“黔单 24”在习惯施肥条件下产量就达到最大,随着施肥量的增加超过其耐肥限度,故其养分吸收量随施肥量的增加反而减小。本试验结果得出,根据品种差异合理施肥能提高玉米的养分吸收量,但超过玉米品种最佳施肥量后施肥虽能提高植株的养分吸收量,却不能提高产量,这与田立双等^[26]的研究结果一致。不同品种玉米养分需求不同,在不同施肥条件下表现出不同的吸收规律,从而影响干物质的积累和籽粒的产量水平。本文中施肥处理对植株氮、钾养分的吸收影响较显著,对磷的吸收影响不是很大,这可能是因为试验肥料处理以施氮、钾肥为主以及贵州喀斯特黄壤地区土壤肥力偏瘦,土壤速效钾含量较低所致,因而施肥能显著影响两种玉米的氮和钾吸收量。

3.4 品种和施肥量对玉米品质的影响

玉米品质是决定玉米品种优劣的重要指标,已有大量研究表明施肥能提高玉米品质,但过量施肥玉米品质反而会下降^[27-28]。本试验中“金玉 506”淀粉和粗蛋白含量随着施肥量的增加呈增加趋势,

还原糖含量逐渐降低,这可能是因为适量施氮促进了蔗糖从源到子粒库的运输,增加了相关酶的活性,提高了淀粉和粗蛋白合成的底物量,促进了淀粉和粗蛋白的合成,这与赵福成等^[27],刘海龙等^[28]研究结果相一致,而还原糖降低可能是由于施氮量超出一定范围时,植株氮代谢过旺对碳的大量消耗而使糖类物质积累量下降所致^[29]。“黔单24”淀粉含量先增加后降低,粗蛋白含量呈“V”字形波动,还原糖含量随施肥量增加而逐渐增加,但差异未达到显著水平,这可能是由于不同玉米品种的基因型及植株体内某些酶如硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶所影响,玉米品质是由基因型和外界环境条件等诸多因素共同决定的^[30]。

不同玉米品种最佳施肥量不同,合理施肥能提高玉米产量、养分吸收和品质。但过量施肥不仅不能提高产量且肥料利用率低,造成环境污染等负面效果。本试验中在贵州黄壤地区高密度种植下不同品种玉米均有最适肥料用量,“金玉506”以推荐施肥增量15%下产量最高,“黔单24”以推荐施肥量下产量最高。玉米的株高、穗位高、穗粗等指标主要受施肥量影响较大。而玉米的茎粗、行粒数等则主要取决于玉米品种。品种、施肥量均对玉米养分吸收量和品质有显著影响,因此根据不同玉米品种合理施肥能增加两种高产玉米品种的产量、养分吸收并且提高品质,但超过一定施肥量后玉米品质逐渐降低。综上所述,贵州黄壤地区推荐施肥增量15%条件下“金玉506”产量最高,为贵州黄壤地区最适种植的高产玉米品种。

参考文献:

- [1] 徐建亭,姜雯. 不同夏玉米品种氮积累和利用效率差异的研究 [J]. 玉米科学, 2014, 22 (4): 62-66.
- [2] 胡强,康平德,鲁耀,等. 施氮量对玉米产量、养分吸收量及土壤无机态氮的影响 [J]. 西南农业学报, 2012, 25 (5): 1730-1733.
- [3] Sangoi L. Under standing plant density effects on maize growth and development: An important issue to maximize grain yield [J]. Ciencias Marinas, 2001, 31: 159-168.
- [4] 陈泽辉. 贵州玉米种质改良及杂交种的选育研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2005, 33 (增刊): 16-19.
- [5] 唐拴虎,张发宝,黄旭,等. 缓/控释肥料对辣椒生长及养分利用率的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (5): 986-991.
- [6] Sheri C, Deanna O, Carl C, et al. Winter wheat and maize response to urea ammonium nitrate and a new urea formaldehyde polymer fertilizer [J]. Agron. J., 2007, 99: 1645-1653.
- [7] 严奉君,孙永健,马均,等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交水稻根系生长及氮素利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (1): 23-55.
- [8] Trenton F S, Joseph G L. Crop grain yield reponse to crop ration and nitrogen over 35 years [J]. Agron. J., 2008, 100: 643-650.
- [9] 罗龙皂,李渝,张文安,等. 长期施肥下黄壤旱地玉米产量及肥料利用率的变化特征 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (10): 2793-2798.
- [10] 张学林,王群,赵亚丽,等. 施氮水平和收获时期对夏玉米产量和籽粒品质的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (10): 2565-2572.
- [11] 刘水,李伏生. 不同水氮条件下灌溉方式对玉米干物质质量和氮钾利用的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 34 (18): 5249-5256.
- [12] 李波,张吉旺,靳立斌,等. 施钾量对高产夏玉米产量和钾素利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (4): 832-838.
- [13] 纪德智,王端,赵京考,等. 不同氮肥形式对玉米氮、磷、钾吸收及氮素平衡的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 4: 104-109.
- [14] Belay A, Claassmens A, Wehner F. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long term crop rotation [J]. Biology and Fertility of Soil, 2002, 35 (6): 420-427.
- [15] 霍琳,张晓贺,杨思存,等. 有机无机肥配施对新垦盐渍荒地玉米养分吸收利用的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, (5): 173-178.
- [16] 姜涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (3): 559-565.
- [17] 王西娜,王朝辉,李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响 [J]. 生态学报, 2007, 27 (1): 197-204.
- [18] 慈晓科,郝玉波,张吉旺,等. 不同产量水平的玉米自交系农艺性状分析 [J]. 玉米科学, 2010, 18 (3): 25-30, 36.
- [19] 黄光和,赵辉,高祥扩,等. 不同施肥处理对高油玉米产量性状影响的灰色关联度分析 [J]. 西南农业学报, 2014, 27, (1): 179-182.
- [20] 阿丽艳,肉孜,郭仁松,等. 施氮量对枣棉间作棉花干物质积累、产量与品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 761-767.
- [21] 杨今胜,王永军,张吉旺,等. 三个超高产夏玉米品种的干物质生产及光合特性 [J]. 作物学报, 2011, 37 (2): 355-361.
- [22] Milroy S P, Bange M P, Thongbai P. Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions [J]. Field Crops Res., 2009, 113: 246-255.
- [23] Araki H, Hamada A, Hossain M A, et al. Waterlogging at jointing and / or after anthesis in wheat induces early leaf senescence [J]. Field Crops Res., 2011, 124: 10-18.

- cence and impairs grain filling field [J]. *Crops Res.*, 2012, 137: 27-36.
- [24] 许靖, 靳小利, 王翠兰, 等. 高产田不同玉米品种养分吸收、分配及利用效应研究 [J]. *河北农业大学学报*, 2011, 34 (1): 6-12.
- [25] 王宜伦, 刘天学, 赵鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46 (12): 2483-2491.
- [26] 田立双, 杨恒山, 毕文波, 等. 不同施肥模式对春玉米养分吸收与利用的影响 [J]. *玉米科学*, 2014, 22 (4): 120-125, 131.
- [27] 赵福成, 景立权, 闫发宝, 等. 施氮量对甜玉米产量、品质和蔗糖代谢酶活性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19 (1): 45-54.
- [28] 刘海龙, 何萍, 金继运, 等. 施氮对高淀粉玉米和普通玉米子粒可溶性糖和淀粉积累的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (3): 493-500.
- [29] 戴忠民. 氮素代谢对小麦生理特性的影响研究进展 [J]. *河南农业科学*, 2008, (7): 10-13.
- [30] 张智猛, 戴良香, 胡昌浩, 等. 灌浆期不同水分处理对玉米籽粒蛋白质及其组分和相关酶活性的影响 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31 (4): 720-728.

Effects of different fertilizer application on nutrient uptake, biological characteristics, yield and quality of maize in Guizhou

AN Jiang-yong^{1,3}, XIAO Hou-jun¹, QIN Song¹, GOU Jiu-lan¹, ZHENG Chang-xiang², ZHU Yun-fang², LI Yu¹, ZHAO Huan^{1*}, ZHANG Meng¹ (1. Guizhou Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Experimental Station of Cultivated Land Preservation and Agro-environment Science Observation, Ministry of Agriculture, Guiyang Guizhou 550006; 2. Guizhou Institute of Upland Crops, Guiyang Guizhou 550006; 3. College of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang Guizhou 550001)

Abstract: A field split plot experiment was conducted in Guizhou yellow soil areas to explore the effects of fertilizing amount and cultivar difference on maize yield, biological traits, nutrient absorption and quality. Results showed that interaction of fertilizing amount and cultivars had very significant influence on maize yield. In this study, yield of Jinyu 506 increased firstly and then decreased with the fertilizing amount increasing, which reached the highest 10 229.3 kg/hm² when the fertilizing amount was moderate increasing 15%. Yield of Qiandan 24 decreased with the increasing of fertilizing amount, which reached the highest 9 434.1 kg/hm² when the fertilizing amount was at the recommended amount. Yield components of different treatments had significant difference. Cultivar and fertilizing amount had significant effects on ear diameter and kernel weight of maize. Thousand-grain weight of the two maize cultivars increased with the increase of fertilizing amount, which increased by 2.2% ~ 10.3% and 3.2% ~ 6.8% respectively. As for biological traits, plant height, ear height and stem diameter of Jinyu 506 were the best with moderate fertilizing amount, which were 308.5, 130.4 and 2.6 cm respectively. Plant height, ear height and stem diameter of Qiandan 24 were the best with recommended fertilization amount, which were 311.6, 138.0 and 2.43 cm respectively. Cultivar and fertilizing amount had significant effects on nutrient uptake of maize plant. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake of Jinyu 506 increased with the increasing of fertilizing amount by 24.8% ~ 32.7%, 44% ~ 47.8% and 5.9% ~ 45.6% respectively. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake of Qiandan 24 decreased with the increasing of fertilizing amount by 3.8% ~ 13%, 11.8% ~ 23.5% and 3.9% ~ 15% respectively. In quality, fertilizing amount and cultivar had certain effects on maize quality, increasing fertilizing amount was beneficial for increasing the content of starch and protein, the content of reducing sugar decreased with the increase of fertilizer application. According to the nutrient requirements of different maize cultivars, scientific and reasonable fertilization was conducive to improve the biological characters, nutrient absorption, and then promoting the improvement of yield and quality of maize.

Key words: fertilizer; maize yield; nutrient absorption; quality