

施肥和品种对红壤地区大豆产量和养分积累的影响^①

吴艳¹, 吴昊², 孙明珠³, 张九兰², 宋惠洁¹, 胡丹丹¹, 柳开楼^{1*}, 黄尚书¹

(1 江西省红壤及种质资源研究所, 南昌 331717; 2 江西省抚州市农业科学研究所, 江西抚州 344100; 3 江西省农业技术推广中心, 南昌 330046)

摘要: 施肥和品种是限制红壤地区大豆单产的主要因素, 为探究施肥水平和品种对大豆产量、植株养分积累及土壤养分积累的影响, 本研究采用双因素完全随机区组设计, 设置 3 个施肥水平主处理, 分别为不施肥(CK)、配方肥 1(L1)和配方肥 2(L2), 4 个大豆品种副处理, 分别为中豆 41(ZD41)、南农 99-6(NN99)、南农 57(NN57)、南农 66(NN66), 共 12 个处理, 分析了大豆籽粒和秸秆产量、土壤养分和植株养分积累等的差异。结果表明, 施肥水平和品种对大豆籽粒和秸秆产量有显著的影响, 其中 L2-NN66 大豆籽粒产量和秸秆产量较高; 施肥水平和品种互作对大豆氮、磷及钾生产籽粒能力均有影响, 配方肥 L1 和 L2 均有利于大豆增产, 且配方肥 L2 优于 L1 处理; 施肥水平和品种可以显著增加了土壤碱解氮、有效磷及速效钾含量, 以 L2-NN66 增加量较高; 施肥水平和品种双因素互作可以显著增加大豆植株氮磷钾养分积累量, 同样以 L2-NN66 最高。从开花结荚期土壤养分与成熟期大豆植株养分吸收的相关关系可知, 土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量与植株氮磷钾养分吸收呈显著正相关。综上, 施肥水平和大豆品种互作下, L2-NN66 有利于大豆产量和植株氮磷钾养分积累, 可作为大豆施肥水平和品种组合推广适种。

关键词: 施肥水平和品种互作; 产量; 养分积累; 土壤养分

中图分类号: S565.1; S158.3 **文献标志码:** A

Effects of Fertilization Level and Variety on Soybean Yield and Plant Nutrient Accumulation in Red Soil Region

WU Yan¹, WU Hao², SUN Mingzhu³, ZHANG Jiulan², SONG Huijie¹, HU Dandan¹, LIU Kailou^{1*}, HUANG Shangshu¹

(1 *Institute of Red Soil and Germplasm Resources, Nanchang 331717, China*; 2 *Fuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangxi Province, Fuzhou, Jiangxi 344100, China*; 3 *Jiangxi Agricultural Technology Promotion Center, Nanchang 330046, China*)

Abstract: Fertilization and variety are the main factors limiting soybean yield in red soil area. To explore effects of the interaction between fertilization level and variety on soybean yield and plant nutrient accumulation, a dual factor completely randomized block design was adopted in this study, three fertilization levels were respectively set for the main treatment, no fertilization (CK), formula fertilizer 1 (L1), and formula fertilizer 2 (L2), and four soybean varieties were respectively set as vice treatment, Zhongdou 41 (ZD41), Nannong 99-6 (NN99), Nannong 57 (NN57), and Nannong 66 (NN66). Effects of 12 treatments on soybean grain and straw yield, yield increase rate, soil nutrients, and plant nutrient accumulation were analyzed. The results indicate that, there was significant increase in soybean grain and straw production under fertilization level and variety interaction ($P<0.05$), and the grain yield and straw yield of L2-NN66 were higher. Grain production capacity of nitrogen, phosphorus and potassium of soybean were affected under fertilization level and variety interaction. The main treatments of L1 and L2 were beneficial to increase soybean yield, and formula fertilizer L2 was better than L1 treatment. Content of soil available nitrogen, phosphorus and potassium increased significantly under fertilization level and variety interaction, and the increase of L2-NN66 was higher. The accumulations of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in soybean plants also increased under fertilization level and variety interaction, and L2-NN66 was also higher. From the correlation between soil nutrients at flowering

①基金项目: 江西省农机装备研发制造推广应用一体化试点项目子课题(YCTY202405-02-02)、江西省旱粮产业技术体系(JXARS-7)、井冈山农高区省级科技专项“揭榜挂帅”项目(20222-051261)资助。

* 通信作者(liukailou@163.com)

作者简介: 吴艳(1987—), 女, 江西高安人, 高级农艺师, 主要从事作物栽培和资源高效利用研究。E-mail: wuyan070620@163.com

stage and nutrient uptake of soybean plants at maturity stage, there is significantly positive correlation between the contents of soil alkaline hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and potassium with the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients of plants. Under the two-factor interaction of fertilization level and soybean variety, L2-NN66 was beneficial to soybean yield and plant nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, which can be used as soybean fertilization level and variety combination to promote suitable planting.

Key words: Fertilization level and variety interaction; Yield; Nutrient accumulation; Soil nutrients

大豆起源于中国, 营养价值丰富, 是居民日常生活中植物蛋白和食用油脂的主要来源, 市场需求持续增长^[1-2]。但当前中国大豆自给率低, 对外进口依存度高达 87% 左右, 已严重威胁着我国大豆的供给安全^[3]。中国南方大豆种植区占全国大豆主产区的 14.6%^[4], 对全国大豆生产具有重要意义。江西是南方大豆主产区之一, 其气候条件适宜大豆种植生长, 但受品种更新速度慢、栽培技术落后等因素影响, 江西省大豆单产较低, 产业发展受到制约^[5]。因此, 如何提高江西省大豆产量是当前大豆生产发展亟待解决的关键问题。

针对我国大豆供需矛盾突出问题, 农业农村部自 2019 年开始实施大豆振兴计划, 推动全国大豆产量持续增加^[6], 有效提升了大豆生产水平, 同时也加快了江西省大豆产业发展。当前, 大豆增产相关研究主要集中在两方面: 一是通过增施生物肥料^[7]、磷肥^[8]、氮肥与铁肥^[9]等肥料实现增产; 二是通过构建合理群体结构, 如优化大豆的播期和密度^[10]、密度和行距^[11]等提高产量。相关研究表明^[12], 高产大豆品种在合理施肥条件下有更高的产量和养分利用效率。与江西省毗邻的福建省、广东省大豆产量较高, 其通过引进南农 99-6 等高产大豆品种有效应对品种退化问题^[13-14]。江西省大豆主产区位于红壤区, 该区域养分匮乏, 长年种植作物导致土壤肥力显著下降^[15], 而施用氮磷钾肥料可以明显增加大豆产量^[16]。因此, 提升江西省大豆产业竞争力和发展江西大豆产业, 亟需实现良种良法配合。目前, 关于施肥水平和品种互作对提高大豆产量及植株养分积累等的研究尚未见报道, 为此, 本研究设置大豆不同施肥水平为主处理, 大豆品种为副处理, 明确施肥水平和品种互作的最优组合对大豆产量、植株养分和土壤速效养分累积等影响, 为江西省大豆高产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及供试材料

试验于 2022 年 4 月—2022 年 7 月在江西省抚州市(28°15'22.03"N, 115°07'36.83"E)进行。该区域属亚

热带季风气候, 境内年平均降水量 1 530 mm, 气温 17.5 °C, 无霜期 273 d。供试土壤为第四纪亚红黏土母质发育的中潴黄泥田。试验地土壤养分状况为 pH 5.82, 有机质 23.49 g/kg, 全氮 0.99 g/kg, 全磷 0.43 g/kg, 全钾 19.71 g/kg, 碱解氮 71.88 mg/kg, 有效磷 12.51 mg/kg, 速效钾 49.78 mg/kg。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 设置不施肥(CK)、配方肥 1(L1)和配方肥 2(L2)3 个施肥水平主处理, 每个施肥水平设 4 个大豆品种副处理, 分别为中豆 41(ZD41)、南农 99-6(NN99)、南农 57(NN57)、南农 66(NN66)。配方肥的选择主要是基于前期研究, 根据大豆的氮磷钾养分需求初步总结了氮磷钾肥配比; 品种选择依据前期调研结果确定中豆 41 性状稳定、表现优良, 因此选定为试验对照品种; 而南农系列品种在江西省种植推广面积较大, 区域适应性与生产代表性较强, 因此作为本研究选择品种。各处理 3 次重复, 共计 36 个小区。小区面积 13 m²(3.25 m×4 m)。具体试验处理见表 1。

1.3 测定指标和方法

秸秆和籽粒收获采用按照小区实收产量。并取 500 g 样品放入烘箱 105 °C 杀青 1 h 后, 80 °C 烘干至恒质量。用小型粉碎机将其粉碎, 采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮制备待测液, 采用 AA3 流动注射分析仪测定全氮含量, 采用钼黄比色法测定全磷含量, 采用火焰光度计法测定全钾含量^[17]。

大豆开花结荚期用土钻挖取 0~25 cm 土层土壤样本, 采用 1.8 mol/L NaOH 碱解扩散法测定土壤碱解氮含量, 采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 萃取法测定有效磷含量, 采用 1 mol/L 中性乙酸铵浸提-火焰光度计法测定速效钾含量^[17]。

增产率=(施肥处理产量-对照处理产量)/对照处理产量; 单位氮磷钾生产籽粒量用各处理产量分别与单位面积植株吸收的氮、磷、钾量的比值表示; 植株氮磷钾养分累积量=(单位面积植株籽粒全氮磷钾含量×籽粒产量+单位面积植株秸秆全氮磷钾含量×秸秆产量)。

表 1 试验处理及施肥情况(kg/hm²)
Table 1 Experimental treatment and fertilization situation

主处理	副处理	尿素	钙镁磷肥	氯化钾肥	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	ZD41	0	0	0	0	0	0
	NN99	0	0	0	0	0	0
	NN57	0	0	0	0	0	0
	NN66	0	0	0	0	0	0
L1	L1-ZD41	76.92	461.54	76.92	35.38	25.15	38.31
	L1-NN99	76.92	461.54	76.92	35.38	25.15	38.31
	L1-NN57	76.92	461.54	76.92	35.38	25.15	38.31
	L1-NN66	76.92	461.54	76.92	35.38	25.15	38.31
L2	L2-ZD41	96.15	513.08	51.54	44.23	27.96	25.67
	L2-NN99	96.15	513.08	51.54	44.23	27.96	25.67
	L2-NN57	96.15	513.08	51.54	44.23	27.96	25.67
	L2-NN66	96.15	513.08	51.54	44.23	27.96	25.67

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件分析试验数据,采用 SPSS 20.0 软件 Duncan 新复极差法检验分析不同处理间差异显著性。采用 Origin 8.5 软件作图,植株养分与土壤团聚体养分含量的关系采用决定系数(R²)进行表述。

2 结果与分析

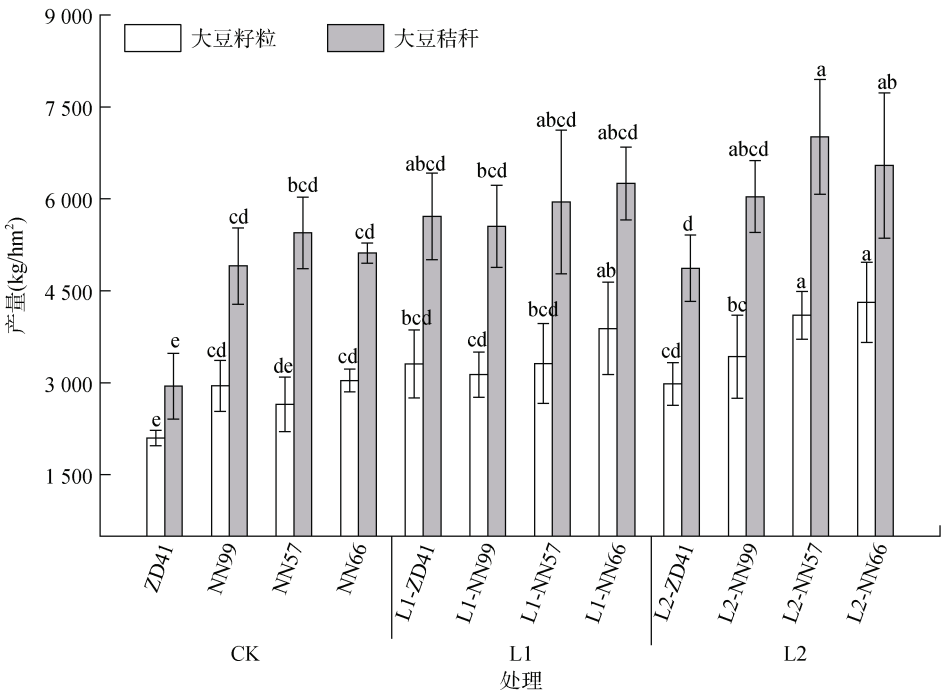
2.1 施肥水平和品种互作对大豆籽粒和秸秆产量影响

图 1 表明,施肥水平和品种互作对大豆籽粒和秸

秆产量有显著的影响($P<0.05$)。与不施肥(CK)主处理相比,L1 和 L2 主处理大豆籽粒产量平均分别增加了 27.06% 和 38.01%,秸秆产量分别平均增加了 27.45% 和 32.83%。不施肥(CK)主处理中南农系列大豆品种产量均明显增加,尤以 NN66 品种增产最多。施肥水平和品种互作下,大豆产量最高的是 L2-NN66,其次是 L2-NN57,ZD41 产量最低。秸秆产量则表现为 L2-NN57 最高,其次是 L2-NN66,ZD41 最低。

2.2 施肥水平和品种互作对大豆单位全氮、全磷、全钾生产籽粒能力和增产率影响

由表 2 可知,大豆生产籽粒的能力是单位面积吸



(图中小写字母不同表示同一大豆植株部位不同处理间差异显著($P<0.05$))

图 1 施肥水平和品种互作对大豆籽粒和秸秆产量影响

Fig.1 Effects of fertilization level and variety interaction on soybean grain and straw yield

收营养元素反馈到产量的能力。施肥水平和品种互作，大豆全氮生产籽粒能力差异不显著，而全磷、全钾生产籽粒能力略有差异。与不施肥(CK)主处理相比，L1 和 L2 主处理全氮生产籽粒的能力分别平均增加了 3.03% 和 6.13%，全钾生产籽粒的能力分别平均减少了 4.05% 和 13.50%，而全磷生产籽粒的能力则分别平均减少了 41.62% 和 37.41%。不施肥下，全氮生产籽粒的能力大小为 ZD41 最高，其次是 NN66，最低的

是 NN57，配方肥 L1 和 L2 施入后则变为 NN99 最高，NN66 其次，ZD41 最低。增产率是大豆品种在施肥水平下的大豆产能的一项指标。与不施肥(CK)主处理相比，L1 和 L2 主处理中不同大豆品种均呈增产趋势，平均增产率分别为 28.96% 和 38.73%。L1 处理中增产率大小表现为 L1-ZD41 最高，其次是 L1-NN66，最低为 L1-NN99，L2 处理中增产率大小则为 L2-NN57 最高，其次是 L2-ZD41，最低是 L2-NN99。

表 2 不同处理下大豆单位全氮、全磷、全钾生产籽粒能力和增产率
Table 2 Grain production capacity per unit and yield increasing rates of N, P and K under different treatments

处理	生产籽粒能力(kg/kg)			增产率(%)
	全氮	全磷	全钾	
ZD41	13.99±0.83a	20.19±1.19a	29.80±1.76abcd	—
NN99	13.33±1.88a	19.33±2.72a	34.90±4.91a	—
NN57	13.23±2.23a	20.57±3.47a	32.02±5.4abc	—
NN66	13.64±0.84a	12.21±9.5b	28.64±1.77bcde	—
L1-ZD41	14.07±2.36a	10.67±8.22b	33.1±5.56ab	56.80±16.77a
L1-NN99	14.45±1.69a	11.33±8.78b	31.09±3.64abcd	6.58±5.87c
L1-NN57	13.48±2.64a	10.09±7.78b	25.86±5.07de	25.19±11.09bc
L1-NN66	13.84±2.68a	10.14±7.75b	30.24±5.86abcd	27.27±16.66bc
L2-ZD41	13.96±1.63a	10.80±8.36b	30.71±3.58abcd	41.73±8.66ab
L2-NN99	14.86±2.94a	10.90±8.65b	26.26±5.20cde	15.43±6.92c
L2-NN57	14.32±1.36a	11.97±9.43b	23.78±2.25e	56.23±12.89a
L2-NN66	14.38±2.18a	11.58±9.21b	27.71±4.2bcde	41.53±15.59ab

注：表中同列不同小写字母表示处理间显著差异(P<0.05)，下同。

2.3 施肥水平和品种互作对大豆开花结荚期土壤养分影响

施肥水平和品种可以显著增加土壤碱解氮、有效磷及速效钾含量(表 3)。与不施肥(CK)主处理相比，L1 和 L2 主处理土壤碱解氮平均增加了 24.14 mg/kg 和 54.62 mg/kg，有效磷平均增加了 6.72 mg/kg 和 4.41 mg/kg，速效钾平均增加了 31.42 mg/kg 和 30.8 mg/kg。施肥水平和品种互作下土壤中碱解氮、有效磷及速效钾养分均以 L2-NN66 处理较高。

2.4 施肥水平和品种双因素互作对大豆植株养分累积影响

表 4 表明，施肥水平和大豆品种互作对大豆植株氮、磷、钾累积量均存在显著影响，且二者存在明显互作效应。整体来看，植株养分累积量随施肥水平升高呈显著上升趋势，表现为配方肥 2 (L2)>配方肥 1 (L1)>不施肥(CK)。品种间差异显著，同一施肥条件下，NN66、NN57 的养分累积能力整体优于 NN99、ZD41，其中 ZD41 在不施肥条件下氮、磷、钾累积量均最低，分别为(150.19±9.99)、(104.08±18.22)、

表 3 施肥水平和品种互作对土壤养分影响(mg/kg)
Table 3 Effects of fertilization level and variety interaction on soil nutrient

处理	碱解氮	有效磷	速效钾
ZD41	38.37±0.81h	19.35±2.60c	93.07±3.85f
NN99	34.33±1.98i	18.83±1.75c	84.27±0.74g
NN57	38.40±1.65h	18.23±1.21c	97.77±1.72f
NN66	42.43±2.15g	16.23±0.75c	81.93±2.75g
L1-ZD41	57.63±2.65f	20.07±1.2c	113.47±1.65e
L1-NN99	61.77±2.35e	25.87±1.75a	121.13±0.91c
L1-NN57	73.27±3.80d	29.13±1.01a	129.90±1.70a
L1-NN66	57.40±1.30f	24.43±2.65b	118.20±2.01d
L2-ZD41	95.67±3.40a	19.27±2.05c	122.50±1.40bc
L2-NN99	88.10±0.95c	22.7±0.92b	115.33±2.25de
L2-NN57	92.13±1.45b	23.07±2.75b	123.77±2.50b
L2-NN66	96.10±2.95a	25.23±1.01b	118.63±2.15cd

(70.49±22.80) kg/hm²。高肥条件下，优良品种的养分吸收潜力得到充分发挥，L2-NN66 氮累积量最高(299.93±39.56 kg/hm²)，磷累积量以 L2-NN66(243.47±37.51 kg/hm²)和 L2-NN57(232.03±50.77 kg/hm²)最高，

钾累积量以 L2-NN57 最高(172.33±28.99 kg/hm²)。综 互作处理,可显著提升大豆植株养分累积,ZD41 耐 上,L2 高施肥水平与 NN57、NN66 品种组合为最优 肥性较弱,更适用于低肥或中肥条件种植。

表 4 施肥水平和品种互作对大豆植株养分累积影响(kg/hm²)
Table 4 Effects of fertilization level and variety interaction on plant nutrient accumulation of soybean

处理	氮累积量	磷累积量	钾累积量
ZD41	150.19±9.99e	104.08±18.22d	70.49±22.80d
NN99	221.32±38.60d	152.60±31.8bcd	84.52±11.38cd
NN57	200.22±38.25d	128.72±30.82cd	82.7±28.14cd
NN66	222.71±28.86d	176.45±27.37bc	106.07±23.37bcd
L1-ZD41	235.19±33.36bcd	194.66±48.96ab	99.95±20.49bcd
L1-NN99	216.82±26.88d	178.67±26.77bc	100.78±16.36bcd
L1-NN57	245.92±47.28bcd	204.11±45.64ab	128.15±54.09abcd
L1-NN66	280.91±62.27abc	236.4±54.87a	128.53±47.33abcd
L2-ZD41	213.80±26.7d	179.56±30.13bc	97.15±24.28bcd
L2-NN99	230.44±37.53cd	196.85±53.64ab	130.39±29.50abc
L2-NN57	286.29±38.42ab	232.03±50.77a	172.33±28.99a
L2-NN66	299.93±39.56a	243.47±37.51a	155.62±31.22ab

2.5 开花结荚期土壤养分与成熟期大豆植株养分吸收的关系

由图 2 可知,土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量与植株氮磷钾养分吸收呈显著正相关($P<0.05$)。

结合线性拟合方程(表 5)可知,当土壤碱解氮增加 1 mg/kg,大豆植株氮养分累积 1.02 g/kg;土壤有效磷增加 1 mg/kg,大豆植株磷养分累积 6.65 g/kg;土壤速效钾增加 1 mg/kg,大豆植株钾养分累积 1.14 g/kg。

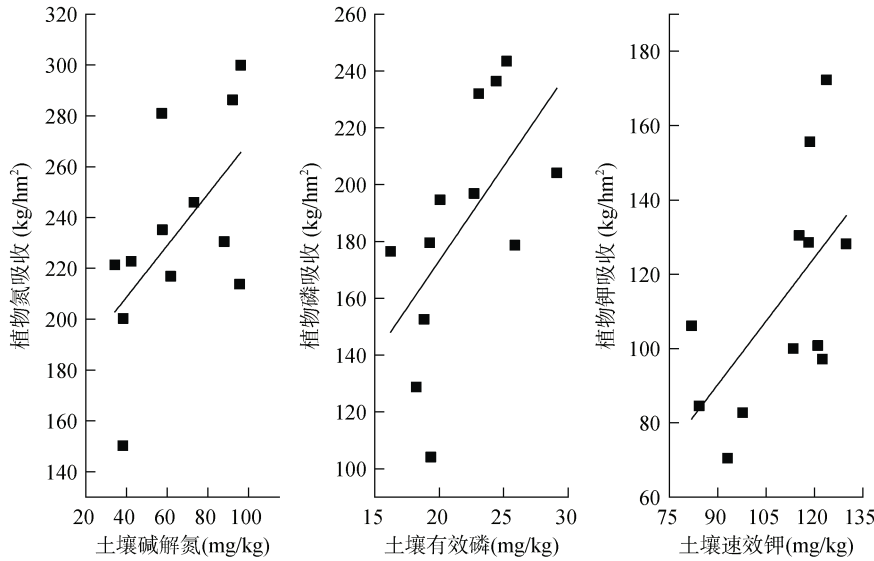


图 2 土壤养分与植株养分吸收的相关关系
Fig. 2 Correlation between soil nutrients and plant nutrient absorption

表 5 土壤养分与植株养分吸收关系的拟合方程
Table 5 Fitting equation for relationship between soil nutrients and plant nutrient absorption

养分指标	拟合方程	R^2	P
氮	$y=1.02x+168.03$	0.280	0.044
磷	$y=6.65x+40.15$	0.290	0.040
钾	$y=1.14x-12.33$	0.309	0.035

3 讨论

3.1 施肥水平和品种互作对大豆产量和增产效应影响

本研究以施肥水平为主处理,以江西省大豆种植推广面积较大的南农系列品种为副处理,开展施肥水平和品种互作试验,探寻最佳互作组合,为红壤地区

大豆高产栽培提供理论依据。本研究发现,不施肥和配方肥处理下,ZD41 全氮生产籽粒能力较强,这一结果验证了本研究将 ZD41 设为品种对照的合理性与科学性。进一步分析表明,施肥水平主处理中,配方肥 L2 处理的籽粒产量比不施肥处理、配方肥 L1 处理分别平均增加 38.01%、10.95%,秸秆产量分别平均增加 32.83%、5.38%,说明配方肥 L2 更利于提升大豆产量。从施肥水平与品种互作来看,L2-NN66 组合的籽粒产量最高,且本研究通过大豆增产效应验证,配方肥 L1 和 L2 均能促进大豆增产,其中配方肥 L2 增产幅度接近 40%,由此可见,L2-NN66 组合适宜在红壤地区推广种植。本研究中 L2-NN66、L2-NN57 等优良品种配合高肥水平实现高产,这与优良大豆品种配合适宜施肥水平可以发挥品种真正的增产潜力^[3]的结果相一致。本研究还表明,配方肥 L2 显著提升大豆产量、成为产量提升的关键,这与研究^[18]中品种、施肥量均能影响大豆产量,且施肥量是影响大豆产量的关键因素的结论相符。此外,合理施用氮磷钾肥料可大幅提升作物产量,不合理施肥则会抑制大豆产量增加^[19],且作物干物质分配受不同施肥水平影响并最终作用于产量^[20]。

3.2 施肥水平和品种互作对植株养分积累和土壤养分变化的影响

本研究主要探讨施肥水平和品种互作对大豆植株养分积累及土壤养分变化的影响,结果表明,二者互作不仅能显著影响大豆植株养分积累,还能增加土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量,且配方肥主处理更有利于土壤中养分积累。这可能是由于本研究中配方肥处理能够有效调控土壤养分供应^[21],为大豆植株根系提供充足营养,促进根系充分吸收养分^[22],进而增加植株养分吸收积累。植株养分积累方面,配方肥 L1、L2 处理的大豆氮、磷、钾累积量均显著高于不施肥处理,且 L2 较 L1 处理氮、磷、钾累积量分别平均增加 6.50%、6.78% 和 28.50%。相同施肥条件下,南农系列品种养分积累表现为 NN66>NN57>ZD41,这与表 4 中不同施肥水平下 ZD41 养分累积量均最低、NN66 和 NN57 表现最优的结果一致。本研究发现配方肥处理能提升土壤养分、促进植株养分积累,这与施肥可以提高作物生育期内土壤碱解氮、有效磷、速效钾等养分含量^[23],合理的氮磷钾施肥水平能协调土壤营养供应,从而促进作物养分的吸收^[24]的结果相契合。本研究中不同大豆品种在相同施肥条件下养分积累存在显著差异的结论也与人研究^[25]相同施肥水平下,作物不同品种对土壤

养分利用存在差异的结论相符。

此外,种植豆科作物可提升土壤生物固氮能力^[26],有效降低土壤中的交换性酸和交换性 Al^{3+} 含量^[27],且利于后茬作物产量的增加^[28];而在生产上,大豆植株养分吸收也受种植模式影响^[25]。因此,在充分考虑施肥水平和品种互作对土壤养分和植株养分影响的基础上,将不同种植模式的增产潜力作为今后研究的一个方向,具有重要的实践意义。大豆生育过程中,土壤养分与籽粒营养物质的形成具有密切关系^[10],本研究同样认为,土壤速效养分含量与植株养分吸收呈显著正相关,这与本研究中配方肥提升土壤养分、进而增加植株养分累积的结果相呼应。但在今后大豆生产发展中,还应持续优化施肥量与施肥配比,不断提高大豆产量效益和化肥利用率^[26],进而推动全省大豆产业高质量发展。

4 结论

施肥水平与大豆品种互作可显著提升大豆籽粒产量及秸秆产量;施用配方肥 L1 和配方肥 L2 均能有效增加土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量,为大豆植株养分吸收提供良好基础,进而促进植株养分积累。结合施肥水平与大豆品种双因素互作效应分析可知,L2-NN66 组合综合表现最优,可作为大豆施肥水平与品种配套推广的适宜组合,适宜在生产中推广种植。

参考文献:

- [1] 赵朝森,赵现伟,郭兵福,等. 江西秋播不同来源大豆品质性状鉴定及优异种质筛选[J]. 大豆科学, 2022, 41(4): 413–419.
- [2] 肖卫东,杜志雄. 中国大豆产业发展: 主要问题、原因及对策建议[J]. 全球化, 2019(5): 105–118, 136.
- [3] 刘璐璐,李建飞,舒跃,等. 我国大豆生产消费现状及提升自给率策略[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(2): 242–248.
- [4] Wang Y, Xu S W, Li G Q, et al. Study on comparison of the advantages of different soybean producing areas in China from a temporal and spatial perspective[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1592(1): 012073.
- [5] 程春明,王瑞珍,吴问胜,等. 新时期江西大豆生产与发展的探讨[J]. 江西农业学报, 2008, 20(11): 42–44.
- [6] 曾小艳,祁华清,邓义,等. 农业农村部《大豆振兴计划实施方案》解读[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(18): 36–37.
- [7] Ghaly F A, Abd-Elhamied A S, Shalaby N S. Effect of bio-fertilizer, organic and mineral fertilizers on soybean yield and nutrients uptake under sandy soil conditions[J]. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 2020, 11(11): 653–660.

- [8] Zanao L A, Arf O, dos A Reis R, et al. Phosphorus fertilization with enhanced efficiency in soybean and corn crops[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2020, 14(1): 78–84.
- [9] Caliskan S, Ozkaya I, Caliskan M E, et al. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil[J]. *Field Crops Research*, 2008, 108(2): 126–132.
- [10] 孙国伟, 付连舜, 张凤路, 等. 播期及密度对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. *大豆科学*, 2016, 35(3): 423–427.
- [11] 张瑞朋, 付连舜, 佟斌, 等. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. *大豆科学*, 2015, 34(1): 52–55.
- [12] Bender R R, Haegel J W, Below F E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties[J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(2): 563–573.
- [13] 顾智伟, 郑龙, 林海峰, 等. 福建莆田大豆新品种引种比较试验[J]. *中国种业*, 2022(1): 75–78.
- [14] 徐沛然, 赖锦洪, 年海, 等. 广东大豆产业现状及原料需求分析[J]. *大豆科技*, 2019(6): 41–45.
- [15] 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤长期施肥养分下移特征[J]. *土壤*, 2000, 32(1): 27–29.
- [16] 宋惠洁, 秦文婧, 李桂龙, 等. 红壤丘陵区玉米鲜食大豆间作的丰产增效和土壤培肥效应[J]. *土壤*, 2024, 56(6): 1206–1213.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 傅晨野, 李多, 滕思远, 等. 化肥配施复合微生物肥对大豆养分积累及产量和品质的影响[J]. *大豆科学*, 2024, 43(1): 54–63.
- [19] 刘建玲, 贾可, 廖文华, 等. 太行山山麓平原 30 年间土壤养分与供肥能力变化[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1325–1335.
- [20] 任小俊, 吕新云, 马俊奎. 种植密度与施肥水平对山西早熟夏大豆产量与主要农艺性状的影响[J]. *大豆科学*, 2019, 38(6): 921–927.
- [21] 龙素霞, 李芳芳, 石书亚, 等. 氮磷钾配施对小麦植株养分吸收利用和产量的影响[J]. *作物杂志*, 2018(6): 96–102.
- [22] 张向前, 曹承富, 陈欢, 等. 长期定位施肥对砂姜黑土小麦根系性状和根冠比的影响[J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(3): 382–389.
- [23] Zhao H T, Li T P, Zhang Y, et al. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, 17(12): 2718–2730.
- [24] 刘春增, 张成兰, 张琳, 等. 长期紫云英配施减量化肥对土壤铵态氮吸附解吸特征的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2024(6): 11–17.
- [25] 王永华, 胡卫丽, 李刘霞, 等. 不同基因型小麦产量和氮利用效率的差异及其相互关系[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(2): 301–308.
- [26] Qiao M J, Sun R B, Wang Z X, et al. Legume rhizodeposition promotes nitrogen fixation by soil microbiota under crop diversification[J]. *Nature Communications*, 2024, 15: 2924.
- [27] 李艳. 施用豆科绿肥对砖红壤酸度及交换性能的动态影响[D]. 海口: 海南大学, 2011.
- [28] 陈洪俊, 黄国勤, 杨滨娟, 等. 冬种绿肥对早稻产量及稻田杂草群落的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(10): 1976–1984.

(责任编辑: 王方方)