



朱莹雪,陈圣杰,匡恩俊,等. 变量追氮对土壤化学性质及玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2025(1):6-13.

变量追氮对土壤化学性质及玉米产量的影响

朱莹雪¹,陈圣杰^{1,2},匡恩俊¹,袁佳慧¹,迟凤琴¹,张久明¹

(1. 黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部黑土地保护与利用重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 哈尔滨师范大学 生命科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要:为促进东北黑土区玉米绿色精准施肥,采取变量追氮的施肥方式在八五五农场和八五六农场试验区玉米田进行田间大区试验,以高空间分辨率遥感影像数据为基础,以当地常规追氮量 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为标准,设置 5 个施肥梯度并生成处方图,研究精准变量追氮施肥技术对土壤化学性质及玉米产量等指标的影响。结果表明,八五五农场试验基地土壤有机质和碱解氮含量均表现为少量减氮处理显著高于其他处理,分别较常规追氮处理提高 17.0% 和 44.1%,相较于追氮前,有机质含量提高 $8.2\%\sim70.3\%$; pH 在变量追氮后少量减氮、少量增氮显著高于常规追氮处理 $4.8\%\sim5.7\%$,大量增氮处理高于常规追氮处理 1.7%; 各变量追氮处理玉米产量虽低于常规追氮处理,但差异不显著。八五六农场试验基地土壤有机质含量经变量追氮后均有所提高 ($3.0\%\sim36.4\%$),各处理间差异不显著; 变量追氮后常规追氮处理的碱解氮含量最高 ($46.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),与大量增氮处理差异显著; 变量追氮后除少量增氮处理 pH 低于常规追氮处理,其他变量追氮处理均高于常规追氮处理 $4.2\%\sim5.5\%$,各处理间差异不显著; 减氮处理的玉米产量较高,增氮处理的产量较低,各处理间差异不显著。综上,变量追氮一年虽然在降低土壤速效养分空间差异上未表现出明显效果,但增加了有机质的含量,促进地块保持产量均一稳定,能够达到稳产增产的效果。

关键词:玉米; 精准施肥; 变量追氮; 增产增效; 平衡地力; 增产

化肥在提高农田生产力与作物产量等方面发挥了关键作用,科学的肥料施用是提高玉米产量

的重要前提。然而目前许多地区农民施肥存在盲目性,在东北平原玉米产区一些农户的施氮量(N)

收稿日期:2024-06-07

基金项目:现代农业省实验室项目资助(ZY04JD05-009); 黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z23266); 黑龙江省农业科技创新跨越工程项目(CX23BS03); 黑龙江省自然基金项目(PL2024D024, LH2024D031)。

第一作者:朱莹雪(1996—),女,硕士,研究实习员,从事土壤肥力与土壤改良研究。E-mail:zyx23008@163.com。

通信作者:张久明(1980—),男,博士,副研究员,从事土壤肥力演变与高效施肥研究。E-mail:zjm_8049@163.com。

Abstract: In order to reduce the impact of long-term excessive use of chemical fertilizers on the soil and environment of cold rice. Intelligent fertilizer recommendation of according to the Nutrient Expert System (NE) based on yield and residual nutrients from previous season. Adopting a regional comparative experimental design with different fertilization rates, investigate the effects of different fertilization treatments on rice growth period, yield composition factors, theoretical yield, measured yield, and economic benefits, and analyze the partial factor productivity of fertilizer (PFP) under different fertilization treatments. The experimental results showed that compared with farmers used to three fertilizer ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) application amount of 161, 59, 106 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, intelligent fertilizer recommendation ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) application amount of 151, 56, 69 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the reduced application amount of N, P_2O_5 , K_2O were 10, 3, 37 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. There were some differences among the development process, yield factors, the actual yield, and the variation was not obvious. The maturity stage of treatment 2 was the earliest on September 1st, two days prior to FP. The PFP of the three fertilizers were the highest on treatment 3, there were 73.98, 199.49, 161.91 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The higher than FP of 8.86, 21.78, 63.00 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The yield was increased of 4 treatments based on the condition of reducing fertilizer. The actual increase yield was the highest of treatment 3, the actual yield reached 11 171.67 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the increasing yield of 686.73 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the increasing rate of 6.5%. The order of increasing yield, PFP of 4 treatments were consistent. The yield of rice could be increased by applying bio-organic fertilizer.

Keywords: cold rice; Nutrient Expert System; fertilizer recommendation; bio-organic fertilizer; yield; partial factor productivity of fertilizer

已高达 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[1],然而长期的高量化学肥料投入,不仅会造成土壤养分的不平衡,还会导致农作物产量与质量的下降^[2-4],不利于农业绿色发展。黑龙江省土壤养分普遍存在空间异质性,目前农户采用的常规定量施肥方式会产生土壤肥力薄弱区域供肥不足,而土壤肥沃区域养分利用率低、养分残留量大的问题,导致作物生长受到限制,长势参差不齐,无法将产量潜力最大化^[5]。

变量施肥技术是基于田间土壤养分与水分的分布、作物生长情况等不同因素的空间差异,采用精准分区技术结合地力等级评价对地块进行小面积划分,将肥料进行“变量投入”,因地制宜地均衡土壤养分分布^[6]。而变量追氮技术可通过改变氮素的施用量均衡土壤养分分布,达到提高氮素利用效率、增加玉米产量及品质的目的。其作为化肥现代减施增效技术体系的重要组成部分之一,可为肥料合理施用提供可靠保障^[7-8]。此项技术紧密围绕粮食增产、生产高效、资源节约及生态环保理念,是信息技术、遥感技术、机械技术及化工技术的优化组合,可有效平衡地力,降低土壤肥力空间差异性,有利于改良土壤环境,促进农业可持续发展^[9]。研究发现,对黑龙江垦区采用变量施肥技术后大豆可增产 18.75% ^[10]。

目前,关于变量施肥技术的应用对东北黑土区玉米农田土壤养分平衡、植株养分吸收及产量与品质的研究较少。同时,变量施肥技术通常依赖于精确的土壤数据采集以及对地块作物生长信息的监测,但传统土壤采集方式取样数量少且缺乏精准性,无法准确体现区域地块土壤养分含量特征,导致施肥不具针对性,施肥效果不佳。应用精准分区管理方式,将一个田块根据实际需求及空间差异性分割为若干个不同均质性的子田块,调整土壤与作物的管理措施^[11],不仅是进行精准农业的基础环节,也是提高农业生产力的重要方式。

因此,本研究根据以往土壤地力与作物生长信息情况,通过遥感技术对东北黑土区八五五农场和八五六农场试验区玉米农田进行精准分区管理并进行变量追氮,分析变量追氮与土壤有机质积累、土壤氮平衡、玉米产量及产量构成因子之间的响应,探究适合该地区精准农业生产方式与增产增效协同的可行性方案。通过提高田间施肥管理的科学性与精确性,实现农业生产资源的精准

投入,改善耕层土壤质量,避免过量施肥造成浪费,从根源上减少农业面源污染,为东北黑土区玉米绿色精准施肥技术提供数据支撑与理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

1.1.1 八五五农场 八五五农场位于黑龙江省牡丹江地区东部密(山)虎(林)铁路线的西北侧($45^{\circ}38'N \sim 46^{\circ}00'N$, $131^{\circ}8'E \sim 131^{\circ}50'E$),属寒温带大陆性季风气候,带有山区性气候特点,冬季漫长寒冷,夏季短暂炎热,年平均温度 2.4°C ,年平均降雨量为 553.4 mm ,土壤类型为黑土。

1.1.2 八五六农场 八五六农场位于黑龙江省虎林市和密山市境内($45^{\circ}22'24"N \sim 45^{\circ}44'50"N$, $132^{\circ}28'E \sim 133^{\circ}11'38'E$)。属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长,严寒少雪;夏季短促,温热多雨。年平均气温 3.8°C ,年平均降水量为 585.5 mm ,土壤类型为黑土。

1.2 材料

八五五农场试验地玉米品种为德美亚3号,该品种生育期约为113 d,具有早熟、高产、抗病性强等特性。

八五六农场试验地玉米品种为迪卡2235,该品种生育期约120 d,中早熟品种,具有植株紧凑、生育期适中、抗病性强、产量潜力高等特点。

两试验地所用肥料均为单质肥料,分别为尿素($N 46\%$)、磷酸二铵($N 18\%$ 、 $P_2O_5 46\%$)、氯化钾($K_2O 60\%$)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本研究于2023年进行,八五五农场试验地玉米播种时间为5月1日,种植密度为 $8.4 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$,基肥施用时间为5月1日,于6月20日追肥;八五六农场试验地玉米播种时间为5月1日,种植密度为 $6.4 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$,基肥施用时间为5月1日,于6月21日追肥。两试验地田间管理措施均按照当地常规方法进行。

本研究选择土壤有机质(SOM)数据对裸土区管理分区进行评价^[12],结合遥感影像下的土地势及往年产量数据,通过 ArcGIS 地理信息系统的空间插值模块将 SOM 数据进行空间插值,再通过 Ecognition 软件进行精准管理分区,保持基肥不变,两试验地均以当地常规追氮量 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 尿素为标准,八五五农场试验地和八五六农场试验地分别均设置5个处理,生成连续变量处方图(图1),两个农场各追肥处理的具体施肥量详见表1。

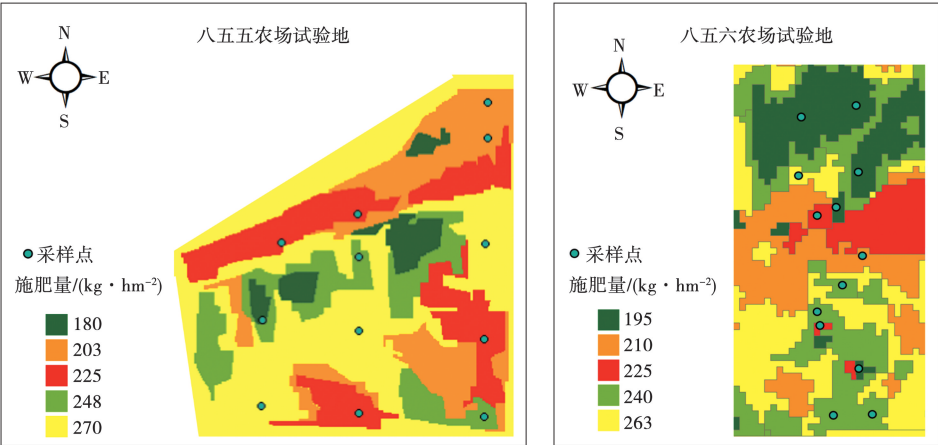


图 1 八五五农场和八五六农场试验地变量施肥处方图

表 1 八五五农场和八五六农场试验地各处理肥料施用量

试验 农场	处理	基肥量/(kg·hm ⁻²)			追氮量(尿素)/ (kg·hm ⁻²)
		尿素	磷酸二铵	氯化钾	
八五五	大量减氮	150	210	90	180
	少量减氮	150	210	90	203
	少量增氮	150	210	90	248
	大量增氮	150	210	90	270
	常规追氮	150	210	90	225
八五六	处理	基肥量/(kg·hm ⁻²)			追氮量(尿素)/ (kg·hm ⁻²)
		尿素	磷酸二铵	氯化钾	
		270	225	150	195
		270	225	150	210
		270	225	150	240
		270	225	150	263
		270	225	150	225

1.3.2 测定项目及方法 土壤理化性质的测定：于2023年春季播种前进行两个农场0~20 cm土样采集。于追氮前(6月19日)和秋收后(9月20日)对各处理进行土样采集,采样人员手持GPS定位系统到达采样点后,以采样点为中心,选取3块5 m²田块,用土钻以五点取样法取各田块0~20 cm土壤,四分法保留1 kg带回实验室,自然风干后过筛保存于封口袋中。

参照《土壤农化分析》^[13]采用外加热重铬酸钾氧化法测定土壤有机质;采用碱解扩散法测定碱解氮;采用酸度计测定土壤pH,水土比为2.5:1.0。

玉米产量及产量构成因素的测定:于玉米成熟后(八五五农场试验地为9月17日,八五六农场试验地为9月18日)在各处理采样点周围随机取3个代表平均长势的样点,每个样点取2行(小垄),行长为9.1 m,垄宽1.1 m,取样面积10 m²。

每个样点记录全部果穗数量(籽粒小于20个不计)、玉米植株数量及空秆数量,从两行中每行各采5株玉米(超过20粒的小穗与其大穗算作一穗),共计10穗,取均匀的5穗玉米作为标准样本称重、脱粒、记录每穗粒数并称量籽粒质量,同时进行百粒重测定并记录。

1.3.3 数据分析 采用Excel 2021软件进行数据分析,SPSS 23进行单因素方差分析(ANOVA),用Duncan's法进行差异显著性检验,Origin 2021绘图。

2 结果与分析

2.1 变量追氮对土壤性质的影响

2.1.1 有机质 如图2A所示,八五五农场土壤有机质追氮前的含量范围在19.19~33.31 g·kg⁻¹,追氮后含量范围在26.66~42.37 g·kg⁻¹。

追氮前大量减氮处理的有机质含量显著高于其他各处理,大量增氮处理显著低于其他各处理,少量减氮与少量增氮处理均与常规追氮处理间差异不显著。

追氮后少量减氮处理的有机质含量显著高于其他各处理,少量增氮处理的有机质含量最低,显著低于大量减氮、少量减氮及常规追氮处理,变量追氮处理均与常规追氮处理达到显著差异水平。

大量减氮处理经变量追氮后较变量追氮前有机质含量呈降低的趋势(降低4.8%),而其他4组处理经变量追氮后则呈现有机质增高的趋势(增加8.2%~70.3%)。

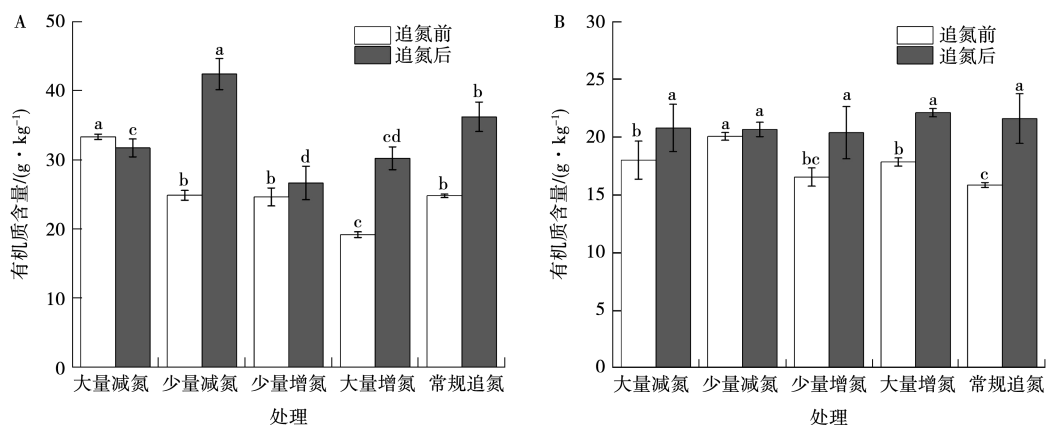


图2 变量追氮前后八五五农场(A)和八五六农场(B)土壤有机质含量变化
注:图中不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

如图2B所示,八五六农场土壤有机质追氮前的含量范围为 $16.54\sim20.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,追氮后的含量范围在 $20.39\sim22.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

追氮前少量减氮处理有机质含量显著高于其他各处理,常规追氮处理有机质含量显著低于除少量增氮处理外的其他各处理。

追氮后大量增氮处理的有机质含量最高,少量增氮处理的有机质含量最低,各处理间差异均不显著。

各处理经变量追氮后比变量追氮前有机质含量呈增加的趋势(增加 $3.0\%\sim36.4\%$)。

2.1.2 碱解氮 如图3A所示,八五五农场试验地追氮前土壤碱解氮含量的范围为 $42.70\sim67.55\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,追氮后土壤碱解氮含量的范围为 $34.65\sim74.43\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

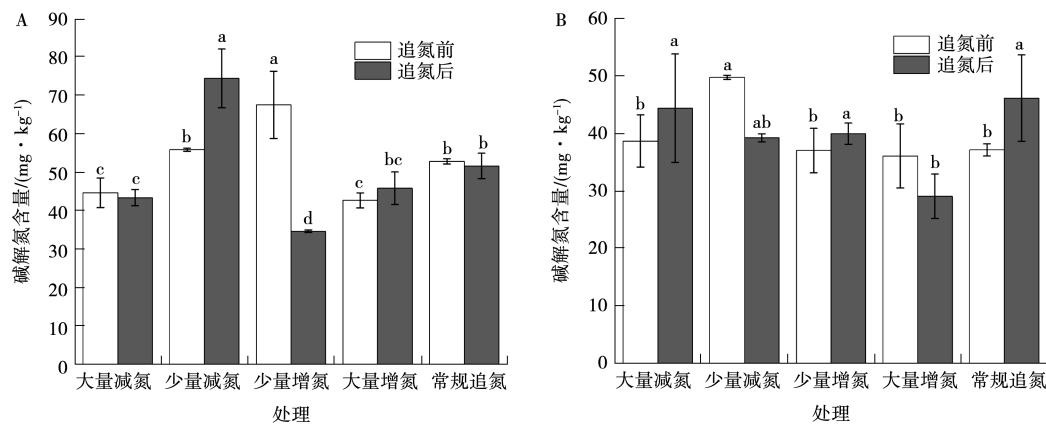


图3 变量追氮前后八五五农场(A)和八五六农场(B)土壤碱解氮含量变化

如图3B所示,八五六农场试验地追氮前土壤碱解氮含量的范围为 $36.05\sim49.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,追氮后土壤碱解氮含量的范围为 $29.05\sim46.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

追氮前少量减氮处理的碱解氮含量显著高于

追氮前少量增氮处理的碱解氮含量显著高于其他各组处理,大量增氮处理的碱解氮含量最低,显著低于除大量减氮处理外的其他各组处理,除少量减氮处理与常规追氮处理未达到显著差异外,其他处理均与常规追氮处理差异显著。

追氮后少量减氮处理的碱解氮含量显著高于其他各组处理,少量增氮处理的碱解氮含量显著低于其他各组处理,除大量增氮处理与常规追氮处理未达到显著差异外,其他处理均与常规追氮处理差异显著。

大量减氮、少量增氮和常规追氮处理的碱解氮含量经过变量追肥后呈下降趋势(降低 $2.9\%\sim48.7\%$),少量减氮和大量增氮处理的碱解氮含量经过变量追肥后则呈现升高的趋势(增加 $7.4\%\sim33.2\%$)。

其他各组处理,大量增氮处理的碱解氮含量最低,但与另外3个处理未达到显著差异水平。

追氮后常规追氮处理的碱解氮含量最高,但仅与大量增氮处理达到显著差异水平,大量增氮

处理的碱解氮含量最低,与除少量减氮处理外的其他各处理均达到显著差异水平。

大量减氮、少量增氮和常规追氮处理的碱解氮含量经过变量追肥后呈升高的趋势(增加7.9%~24.2%),少量减氮和大量增氮处理的碱解氮含量经过变量追肥后则呈现下降趋势(降低21.1%~24.2%)。

2.1.3 pH 如图4A所示,八五五农场试验地追氮前土壤pH的范围为5.15~5.66,追氮后土壤pH的范围为5.06~5.72。

追氮前少量减氮处理的pH最高,与除少量增氮处理外的其他各组处理均达到显著差异水平,

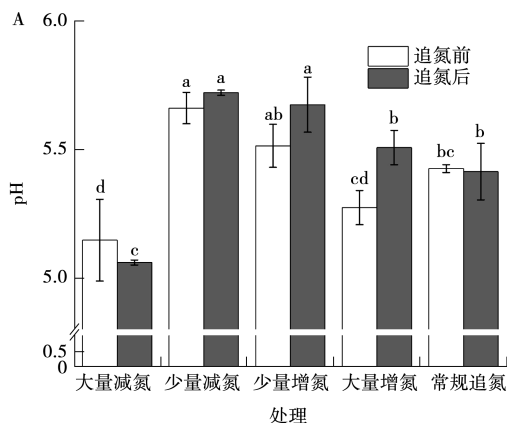


图4 变量追氮前后八五五农场(A)和八五六农场(B)土壤pH变化

如图4B所示,八五六农场试验地追氮前土壤pH的范围为5.26~5.73,追氮后土壤pH的范围为5.22~5.67。

追氮前大量减氮处理的pH最高,与除少量增氮处理外的其他各组处理均达到显著差异水平,常规追氮处理的pH显著低于各组变量追氮处理。

追氮后大量减氮及大量增氮处理的pH最高,少量增氮处理的pH最低,各处理间差异不显著。

大量减氮及少量增氮处理变量追氮后pH呈降低的趋势(降低1.0%~7.9%),少量减氮、大量增氮及常规追氮处理变量追氮后pH呈升高的趋势(增加2.0%~3.4%)。

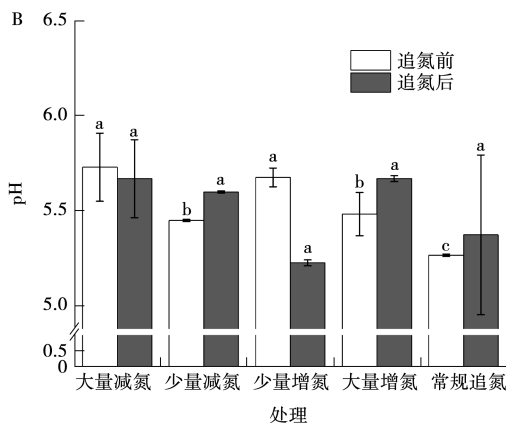
2.2 变量追氮对玉米产量及产量构成因子的影响

如表2所示,八五五农场试验地少量增氮处理的10 m²穗数最高,较常规追氮处理提高了0.98%,大量减氮处理的10 m²穗数最低,较常规追氮处理降低了4.87%,但各处理间均未达到显著差异水平。少量减氮处理的每穗粒数最高,较

大量减氮处理的pH最低,与除大量增氮处理外的其他各组处理均达到显著差异水平。常规追氮处理与少量增氮及大量增氮处理间差异不显著。

追氮后少量减氮处理pH最高,与除少量增氮处理外的其他各组处理均达到显著差异水平,大量减氮处理的pH显著低于其他各组处理。常规追氮处理除与大量增氮处理未达到显著差异外,与其他各组处理均达到显著差异水平。

大量减氮及常规追氮处理变量追氮后pH呈降低的趋势(降低0.2%~1.7%),少量减氮、少量增氮及大量增氮处理变量追氮后pH呈增加的趋势(增加1.1%~4.4%)。



常规追氮处理增加了2.72%,少量增氮处理的每穗粒数最低,较常规追氮处理降低了7.99%,大量减氮、少量减氮均与少量增氮处理差异显著。少量减氮处理的百粒重最高,较常规追氮处理提高了7.72%,大量减氮处理的百粒重最低,较常规追氮处理降低了0.46%,但各处理间均未达到显著差异水平。常规追氮处理的玉米产量最高,高于其他各组处理1.26%~5.69%,但各处理间均未达到显著差异水平。

八五六农场试验地大量减氮处理的10 m²穗数最高,较常规追氮处理提高了6.06%,大量增氮处理的10 m²穗数最低,较常规追氮处理降低了6.06%,但各处理间均未达到显著差异水平。大量减氮处理的每穗粒数最高,较常规追氮处理增加了11.23%,大量增氮处理的每穗粒数最低,较常规追氮处理降低了5.13%,但各处理间均未达到显著差异水平。变量施肥处理中大量减氮处理的百粒重最高,较常规追氮处理提高了7.46%,少量减氮处理的百粒重最低,较常规追氮处理增加了2.71%,各处理间差异均未达到显著水平。大量减氮处理的产量最高,较常规追氮处理提高了

8.73%，少量增氮处理的产量最低，较常规追氮处理降低了 20.60%，其中大量减氮处理与少量增氮处理达到显著差异水平，但常规追氮处理与各变量追氮处理间未达到显著差异水平。八五六农

场试验地大量减氮处理的产量及产量构成因子含量均为最高，说明变量追氮有利于在稳产的情况下减少氮肥的施用量。

表 2 变量追氮对八五五农场和八五六农场试验地玉米产量及产量构成因子的影响

处理	八五五农场				八五六农场			
	10 m ² 穗数	每穗粒数	百粒重/g	产量/(t·hm ⁻²)	10 m ² 穗数	每穗粒数	百粒重/g	产量/(t·hm ⁻²)
大量减氮	65.00±7.00 a	560.00±49.33 a	43.48±4.95 a	16.80±0.56 a	70.00±3.61 a	541.67±62.16 a	49.87±0.80 a	19.42±2.64 a
少量减氮	65.67±5.51 a	565.67±13.50 a	47.05±0.36 a	17.00±1.69 a	63.00±8.89 a	465.00±76.32 a	47.67±0.50 a	17.89±2.31 ab
少量增氮	69.00±6.00 a	506.67±17.50 b	44.84±3.78 a	16.79±1.52 a	65.00±2.65 a	483.00±45.00 a	49.27±1.82 a	14.18±0.67 b
大量增氮	66.33±5.69 a	517.33±26.58 ab	45.46±0.58 a	17.52±0.51 a	62.00±8.72 a	462.00±59.15 a	48.90±8.43 a	15.59±1.35 ab
常规追氮	68.33±1.15 a	550.67±10.69 ab	43.68±2.23 a	17.74±0.36 a	66.00±0.00 a	487.00±36.00 a	46.41±0.60 a	17.86±2.22 ab

注：不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

3 讨论

土壤养分与作物生长、产量密切相关，受空间差异、耕作措施及施肥措施的影响^[14-15]，会产生空间上的养分变异。本研究追氮量为 225 kg·hm⁻²，相较于黑龙江常规玉米种植追氮量较高，但与刘显辉^[16]提出的德美亚 3 号玉米栽培技术中追氮量一致。且殷曦睿^[17]于八五五农场玉米品种展示试验中，施加追氮量为 375 kg·hm⁻²，施用氮肥总量为 510 kg·hm⁻²，高于本研究施用氮肥总量。

本研究发现变量追氮一年不能有效降低土壤养分的异质性。有研究认为变量追氮降低了不同分区土壤养分的变异系数，且较传统均一追氮处理变异系数降低^[18]，但本研究中变量追氮后同一试验地不同处理间土壤肥力仍具有很大的差异性，处理间达到显著差异水平，其原因可能是仅采取了一年变量追氮方式，而土壤中养分含量的积累是常年累月的结果，因此想要使各区域氮素达到相对均衡的水平，还需要多年的累积。薛绪掌等^[19]对冬小麦进行变量施肥试验时，也未得到预期的增加产量、降低变异系数的结论，他认为通过一年的数据指导变量施肥可靠性较低，且其效果并不容易在一两年内甚至两三年内展现出来。也有研究认为变量施氮梯度设置的精确程度、试验分区及采样数量、土壤管理历史、施肥方式、地形和微气候等因素都会对土壤肥力及产量造成影响^[20-21]。因此，需进一步优化变量追施化肥的方法，根据土壤的实际养分状况和作物的需求，更精确地进行施肥，改善土壤养分空间差异性。

有研究发现，无论是单施化肥还是化肥结合有机物料均施用都可以提高土壤有机质及碱解氮的含量^[22]。但本研究发现，相比于追氮前，变量追氮后两试验地有机质含量明显升高，碱解氮含

量的变化却未出现相似的变化规律。有机质含量的提高主要是氮肥施入后可促进作物和微生物群落结构的生长，从而改善土壤惰性有机质稳定性且提高活性有机质^[23]。本研究中碱解氮含量的变化并无规律可循，主要是因为碱解氮含量受有机质、pH 及微生物活性等影响差异较大^[24]。且张珂珂等^[25]研究认为，化肥氮损失途径较多且损失量大，化肥氮素与有机肥氮素配施对土壤碱解氮的提升效果较好。本研究发现部分变量追氮处理能够提高土壤 pH，说明变量追氮措施可以调节作物生态环境酸碱性。过量施肥是导致土壤酸化的关键原因之一，当施氮量超过植物吸氮量则会导致土壤酸化^[26]，变量施肥技术可通过提高肥料利用率以及减少肥料的施用方法调节土壤酸碱性，从而促进作物良性生长。

氮是一种玉米生长必需的营养元素，有效的氮管理对提高作物产量至关重要^[27]。李博辉^[28]研究发现种肥减氮 10% 配合变量施肥有利于叶绿素的合成、提高干物量及籽粒养分积累量。精准施肥技术通过降低农作物生长的空间差异，促进田块内部作物长势趋于均一化^[29]，从而达到提高作物产量与肥料利用率、减少肥料浪费和降低农田污染的目的^[30-33]。本研究中八五五农场和八五六农场各变量追氮处理产量均未与常规追氮处理达到显著差异，表明变量追氮能促进作物生长均一化，保持产量稳定。

综上所述，本研究在变量施肥技术的具体实施细节和效果评估方面，提供了更为丰富和深入的数据支持，通过精确控制氮肥的投入量，实现对不同土壤区域的差异化施肥，以适应田地每个区域的特定条件，从而提高玉米产量与氮肥利用率。但本研究试验周期相对较短，可能无法充分反映

变量施肥技术的长期效果;其次,本研究调查的玉米相关指标数量较少,未来需要增加对玉米生长态势及生理生化方面的研究。同时还要考虑延长试验周期、扩大试验范围,以更全面地评估变量施肥技术的效果。

4 结论

八五五农场试验地有机质含量经变量追氮后除大量减氮处理有所降低外,其余处理均有所升高;碱解氮含量经变量追氮后则表现出大量减氮、少量增氮和常规追氮处理降低,少量减氮和大量增氮处理升高的趋势;pH 经变量追氮后表现出大量减氮和常规追氮处理下降,少量减氮和两个增氮处理升高的趋势,其中少量减氮、少量增氮和大量增氮处理都高于常规追氮处理;产量方面虽各变量追氮处理低于常规追氮处理,但未达到显著差异水平。

八五六农场试验地有机质含量经变量追氮后各处理均有所升高;碱解氮含量经变量追氮后则表现出大量减氮、少量增氮和常规追氮处理升高,少量减氮和大量增氮处理降低的趋势;pH 经变量追氮后表现出大量减氮和少量增氮处理下降,少量减氮、大量增氮和常规追氮处理升高的趋势,其中大量减氮、少量减氮和大量增氮处理都高于常规追氮处理;产量方面减氮处理均高于常规追氮处理,增氮处理均低于常规追氮处理,但均未达到显著差异水平。

综上所述,八五五农场及八五六农场试验地经变量追氮后,各处理土壤有机质、碱解氮和 pH 仍存在差异,其中各处理有机质含量均有所提高,变量追氮处理与常规追氮处理产量差异不显著,但变量追氮能促进产量均一稳定。

参考文献:

- [1] 郝小雨,孙磊,马星竹,等.黑龙江省黑土区玉米田氮肥施效应及碳足迹估算[J].河北农业大学学报,2022,45(5):10-18,131.
- [2] MIAO Y X, MULLA D J, ROBERT P C. An integrated approach to site-specific management zone delineation[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2018;5(4):432-441.
- [3] 任灵杰,田敏,李江全,等.我国变量施肥技术的研究现状与发展分析[J].农机化研究,2023,45(10):10-15,23.
- [4] 陈浩.大豆施肥管理分区实时划分及变量喷施液态肥控制方法研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2023.
- [5] MOMMER L, van RUIJVEN J, JANSEN C, et al. Interactive effects of nutrient heterogeneity and competition: implications for root foraging theory? [J]. Functional Ecology, 2012, 26(1):66-73.
- [6] 孙剑.变量施肥对玉米产量及土壤养分的影响[J].世界热

带农业信息,2022(1):5-6.

- [7] LI H B, WANG X, BROOKER R W, et al. Root competition resulting from spatial variation in nutrient distribution elicits decreasing maize yield at high planting density[J]. Plant and Soil, 2019, 439(1):219-232.
- [8] ZHANG D S, WANG Y S, TANG X Y, et al. Early priority effects of occupying a nutrient patch do not influence final maize growth in intensive cropping systems [J]. Plant and Soil, 2019, 442(1):285-298.
- [9] 孙佳丽,李洪波,张爱平.土壤养分异质性对玉米地上部、根系生长及种内竞争的影响[J].中国农业大学学报,2022,27(8):35-45.
- [10] 王新忠,王熙,汪春,等.黑龙江垦区大豆变量施肥播种应用试验[J].农业工程学报,2008(5):143-146,315.
- [11] 王强.基于GIS与GPS的农户土壤养分空间变异及精准施肥研究[D].合肥:安徽农业大学,2006.
- [12] 邵帅.典型黑土区耕地精准管理遥感分区与产能提升对策研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2020.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] TIDWELL V C, MEIGS L C, CHRISTIAN-FREAR T, et al. Effects of spatially heterogeneous porosity on matrix diffusion as investigated by X-ray absorption imaging[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2000, 42(2/3/4):285-302.
- [15] 苏文楠.夏玉米氮效率及氮高效品种农艺学与生理特征研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [16] 刘显辉.玉米品种德美亚3号高产栽培技术[J].种子世界,2015(5):43.
- [17] 殷曦睿.2021年玉米新品种展示试验总结[J].现代化农业,2022(4):26-28.
- [18] 王殿尧.种肥减氮与变量追氮对土壤氮平衡及玉米产量与氮肥利用率的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
- [19] 薛绪掌,陈立平,孙治贵,等.基于土壤肥力与目标产量的冬小麦变量施氮及其效果[J].农业工程学报,2004(3):59-62.
- [20] 王楠,庄卫东.变量施肥技术的研究现状与发展建议[J].现代化农业,2024(3):77-79.
- [21] 于合龙,陈桂芬,赵兰坡,等.吉林省黑土区玉米精准施肥技术研究与应用[J].吉林农业大学学报,2008(5):753-759,768.
- [22] 刘学彤,郑春莲,曹薇,等.长期定位施肥对土壤有机质、不同形态氮含量及作物产量的影响[J].作物杂志,2021(4):130-135.
- [23] 樊代佳,李成芳,曹凑贵.氮肥深施对免耕稻田土壤有机质化学特性和胞外酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2021,40(3):621-630,693.
- [24] 金江华,李旭,秦凌,等.湖南植烟水稻土碱解氮分布特征及其影响因素[J].土壤,2024,56(3):503-509.
- [25] 张珂珂,宋晓,郭斗斗,等.长期有机无机外源氮素配施作物氮肥利用率及土壤剖面氮分布特征[J].中国土壤与肥料,2024(7):79-87.
- [26] 高敬文,张圆圆,杨艳,等.酸化条件下减量施肥结合土壤改良剂施用对芦笋产量及土壤的影响[J/OL].浙江农业科学,1-10[2024-09-23].<https://doi.org/10.16178/j.issn.0528-9017.20240143>.

- [27] 郭玉梅. 施肥对玉米产量的影响[J]. 农业技术与装备, 2023(8):15-16,19.
- [28] 李博辉. 应用变量施肥技术减施氮肥对大豆生长及产量和质量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2022.
- [29] 王梦沛. 典型黑土区田块尺度精准施肥对策研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [30] LEBAUER D S, TRESEDER K K. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed[J]. Ecology, 2008, 89(2): 371-379.
- [31] CANFIELD D E, GLAZER A N, FALKOWSKI P G. The evolution and future of earth's nitrogen cycle[J]. Science, 2010, 330(6001): 192-196.
- [32] FOWLER D, PYLE J A, RAVEN J A, et al. The global nitrogen cycle in the twenty-first century: introduction [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 2013, 368(1621): 20130165.
- [33] de VRIES W, KROS J, KROEZE C, et al. Assessing planetary and regional nitrogen boundaries related to food security and adverse environmental impacts[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5(3/4): 392-402.

Effects of Variable Topdressing on Soil Chemical Properties and Maize Yield

ZHU Yingxue¹, CHENG Shengjie^{1,2}, KUANG Enjun¹, YUAN Jiahui¹, CHI Fengqin¹, ZHANG Jiuming¹

(1. Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation & Utilization/Key Laboratory of Black Land Protection and Utilization of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150086, China; 2. Life Sciences and Tech Academy, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: In order to promote green and precise fertilization of maize in the Northeast Black Soil Area, field experiments were carried out with variable nitrogen topping fertilization. The experiment was based on high spatial resolution remote sensing image data, using the local conventional nitrogen topping amount of 225 kg·ha⁻¹ as the standard, 5 fertilization layers were set up and prescription maps were generated. To study the effect of precise and variable nitrogen topping fertilization technology on soil chemical properties and maize yield indicators. The results showed that the content of soil organic matter and alkali-hydrolyzable nitrogen in the 855 Farm test base showed that the treatment with slightly reduce the application of nitrogen fertilizer was significantly higher than other treatments, and the treatment with the conventional nitrogen application rate increased by 17.0% and 44.1% respectively. The content of organic matter increased by 8.2%—70.3% compared with that before nitrogen application. Nitrogen fertilizer application after the variable, the pH of slightly reduce the application of nitrogen fertilizer treatment and a small amount of increased nitrogen fertilizer application treatment was significantly higher than that of the conventional nitrogen application rate treatment by 4.8%—5.7%, and the treatment of a large amount of increased nitrogen fertilizer application treatment was 1.7% higher than that of the conventional nitrogen application rate treatment. Although the yield of each nitrogen fertilizer application after the variable treatments was lower than that of the conventional nitrogen application rate treatment, the difference is not significant. The soil organic matter content in the 856 Farm test base increased (3.0%—36.4%) after variable nitrogen fertilizer application, and the difference between the treatments was not significant. Nitrogen fertilizer application after the variable, the alkali-hydrolyzed nitrogen content of the conventional nitrogen application rate treatment was the highest (46.08 mg·kg⁻¹), which was significantly different from that of a large amount of increased nitrogen fertilizer application treatment. The pH of the nitrogen fertilizer application after the variable except a small amount of increased nitrogen fertilizer application treatment was lower than that of the conventional nitrogen application rate treatment, and the other conventional nitrogen application rate treatments were higher than the conventional nitrogen application rate treatment by 4.2%—5.5%, and the difference between the treatments was not significant. The yield of nitrogen fertilizer reduction treatments was higher, and the yield of nitrogen fertilizer increase treatments was lower, and the difference between each treatments was not significant. To sum up, although nitrogen fertilizer application after the variable for one year did not show obvious effect on reducing the spatial difference of soil available nutrients, it increased the content of organic matter, promoted the plot to maintain uniform and stable yield, and achieved the effect of stable yield and increased yield.

Keywords: maize; precision fertilization; variable topdressing nitrogen fertilizer; increase production and efficiency; balancing soil fertility; increase yield