

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.02.012

王东升, 黄忠阳, 吴旭东, 等. 不同施肥对鲜食玉米生长及肥料农学利用率的影响. 土壤, 2021, 53(2): 299–304.

不同施肥对鲜食玉米生长及肥料农学利用率的影响^①

王东升^{1,2}, 黄忠阳¹, 吴旭东¹, 刘庆叶¹, 陈莉莉¹, 戎 茸¹, 王 蓓¹, 李伟明^{1*}

(1 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042; 2 南京农业大学江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘 要: 通过田间小区试验, 分析比较了不同施肥处理对鲜食玉米生长指标、产量、品质、光合特性、土壤酶活性以及肥料农学利用率等指标的影响。试验共设置 5 个处理, 分别为: CK(不施用任何肥料), T1(常规化肥用量+普通有机肥), T2(常规化肥用量+生物有机肥), T3(化肥减施 30%+生物有机肥), T4(化肥减施 30%+生物有机肥+氨基酸叶面肥)。结果表明: ①与 CK 相比, 各施肥处理玉米产量、品质、光合特性及土壤酶活性均呈增加趋势; ②常规化肥用量条件下, 生物有机肥处理(T2)与普通有机肥处理(T1)相比, 玉米株高、茎粗、SPAD 值分别增加了 11.91%、5.07%、5.25%; 可溶性蛋白、可溶性糖及 Vc 含量分别增加了 5.39%、6.48% 和 16.62%; 玉米叶片光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别增加了 3.44%、4.22% 和 16.19%; ③化肥减量条件下, T4 处理较 T3 处理, 玉米叶绿素含量、可溶性糖含量、土壤蔗糖酶活性分别增加 16.26%、14.05% 和 23.82%, 叶片胞间 CO₂ 浓度显著降低 41.05%; 氮肥、磷肥和钾肥的农学利用率分别提高 71.10%、146.25% 和 146.25%。综上所述, 在化肥减施条件下, 配施生物有机肥和氨基酸叶面肥可以提高作物产量、改善作物品质、促进土壤蔗糖酶活性的增加、提高肥料农学利用率, 值得在田间进行示范推广。

关键词: 鲜食玉米; 化肥减施; 生物有机肥; 氨基酸叶面肥; 肥料农学利用率

中图分类号: S145.2 **文献标志码:** A

Effects of Different Fertilization on Fruit Maize Growth and Fertilizer Agronomic Utilization Rate

WANG Dongsheng^{1,2}, HUANG Zhongyang¹, WU Xudong¹, LIU Qingye¹, CHEN Lili¹, RONG Rong¹, WANG Bei¹, LI Weiming^{1*}
(1 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China; 2 Jiangsu Provincial Key Lab of Solid Organic Waste Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to study the effects of different fertilization on the growth of fruit maize and the fertilizer agronomic utilization efficiency, the effects of different fertilization on the growth index, yield, quality, photosynthetic characteristics, soil enzyme activity and fertilizer agronomic utilization rate of fruit maize were analyzed and compared through field plot experiments, in which five treatments were designed: CK (no fertilizer), T1 (conventional fertilizer + conventional organic fertilizer), T2 (conventional fertilizer + bio-organic fertilizer), T3 (reduced fertilizer by 30% + bio-organic fertilizer), T4 (reduced fertilizer by 30% + bio-organic fertilizer + amino acid foliar fertilizer). The results showed that: 1) Compared with CK, maize yield, quality, photosynthetic characteristics and soil enzyme activity increased under different fertilization treatments; 2) Compared with T1, maize height, stem diameter and SPAD value of T2 increased by 11.91%, 5.07% and 5.25%, respectively; soluble protein, soluble sugar and Vc contents increased by 5.39%, 6.48% and 16.62% respectively; photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of maize leaves increased by 3.44%, 4.22% and 16.19% respectively; 3) Under the reduced fertilizer application, compared to T3, the contents of promoted leaf chlorophyll content, maize soluble sugar content, soil sucrose content and enzyme activity of T4 increased by 16.26%, 14.05% and 23.82% respectively; the leaf intercellular CO₂ concentration reduced by 41.05%, and the agronomic utilization efficiencies of N, P and K fertilizers increased by 71.10%, 146.25% and 146.25%, respectively. In conclusion, under the condition of reduced fertilizer application, the combination of bio-organic fertilizer and amino acid foliar fertilizer can improve crop yield and quality, soil invertase activity and fertilizer agronomic efficiency, which is worthy of field application.

Key words: Fruit maize; Fertilizer reduction; Bio-organic fertilizer; Amino acid foliar fertilizer; Fertilizer agronomic utilization rate

①基金项目: 江苏省重点实验室开放基金项目(BM201101301)和南京市蔬菜科学研究所社发项目资助。

* 通讯作者(liweiming1988@sina.cn)

作者简介: 王东升(1980—), 男, 山西阳泉人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事设施蔬菜研究。E-mail: wdsh000@126.com

近年来,我国设施蔬菜产业得到迅猛发展,截至2016年底,我国设施蔬菜(含瓜类)面积达391.5万 hm^2 ,对于保障我国蔬菜周年供应及调整蔬菜品种结构发挥着重要的作用^[1-2]。但由于设施栽培存在集约化程度高、缺乏雨水淋洗、化肥农药过量施用等因素,导致设施土壤营养结构遭到破坏,生态环境质量持续下降,设施蔬菜的产量和品质降低,对人类健康存在潜在威胁^[3-4]。随着农业农村部化肥农药双减政策的提出,有关其他肥料替代化学肥料方面的研究得到飞速发展。张国显等^[5]研究了化肥减量条件下配施不同种有机肥料等对设施蔬菜产量及品质的影响,其结果表明,化肥减施后配施蚓粪可以显著促进设施番茄生长及品质的提升。刘才宇等^[6]对有机肥替代化肥条件下藁干的产量和品质变化情况进行了研究,结果表明,有机肥部分替代化肥对藁干产量、品质的提升效果明显。陈正刚等^[7]研究了苕子翻耕替代部分化肥对土壤肥力及玉米产量的影响,结果表明,苕子翻耕可以显著改善土壤理化性状,提高养分利用率,同时可以最高降低40%左右的化肥施用量。

生物有机肥是一类有益微生物与普通有机肥相结合的新型、高效、安全的复合肥料,其不仅具有有机肥的特性,更突出的是其富含的有益微生物可以参与土壤中养分转化、物质传递等过程,可以有效地提高肥料利用率、改善作物生长环境、调控作物根系生长微生物区系、增强根系活力、促进作物生长^[8]。有研究表明,化肥减施条件下配施有机类肥料不仅不会造成设施蔬菜产量的下降,还能改善蔬菜的品质和土壤的理化性状^[9]。但同时也应该看到,研究人员对替代化肥的专注点在于地下部分,而对于地上部分的关注相对较少。氨基酸叶面肥是一种含有氨基酸、锌、硼、锰、钼、铜、铁等多种作物必需营养元素成分的新型肥料,其作用可以调节作物生长发育,还可以改善作物生理机能^[10]。王新玲^[11]研究了氨基酸叶面肥对小白菜产量的影响,结果表明,氨基酸叶面肥的喷施可以提高小白菜单株重,提高小白菜产量。孙梅等^[12]的研究表明,氨基酸叶面肥的喷施可以促进设施黄瓜、茄子、空心菜产量的增加,对于提高蔬菜品质也有明显的作用。

本研究拟通过田间小区试验,选择鲜食玉米作为研究对象,通过不同施肥处理对鲜食玉米生长、光合作用、产量、品质及土壤理化性状、土壤酶活性等指标的影响,探索化肥减施条件下配施氨基酸叶面肥的技术效果,以期设施鲜食玉米安全、高效施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试生物有机肥由江阴市联业生物科技有限公司生产提供,总养分 $\geq 8\%$,有机质 $\geq 45\%$;复合肥由安徽省司尔特肥业股份有限公司生产, $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O} \geq 45\%$,3种养分等量;氨基酸叶面肥由江阴市联业生物科技有限公司生产提供。供试玉米品种为甜玉米晶甜6号,由南京市蔬菜科学研究所提供。

1.2 研究区概况

试验于2018年8月16日至11月16日在江苏省南京市江宁区横溪街道的南京市蔬菜科学研究所科技园大棚内($31^\circ 43' 19''\text{N}$, $118^\circ 46' 12''\text{E}$)进行,该区域属北亚热带湿润气候,夏季多暴雨,气温高,年平均气温 15.4°C ,年均降水量1106 mm。土壤基本理化性状如下:pH 4.91,全氮0.99 g/kg,全磷0.47 g/kg,碱解氮92.58 mg/kg,有效磷48.53 mg/kg,速效钾144.42 mg/kg。

1.3 试验方法

试验共设置5个处理,每个试验小区长5 m,宽2 m,面积为 10 m^2 ,采用完全随机区组设计,每个处理设3个小区,共15个小区。2018年7月1日育苗,8月16日定植,每小区定植52株,相邻小区间隔50 cm。各处理具体施肥方法如表1所示,各处理中的有机肥或者生物有机肥均是在玉米定植前施入土壤(8月15日),而45%的复合肥(15-15-15)则分为定植前(8月15日)、大喇叭口期(9月15日)和抽雄期(10月1日)3个时间段施入,其质量比为3:1:1。

表1 不同处理具体施肥方法
Table 1 Fertilization methods of different treatments

处理	具体施肥量
空白处理(CK)	不施用任何肥料
常规施肥处理(T1)	普通商品有机肥 6 000 kg/hm ² + 45% 复合肥 450 kg/hm ²
生物有机肥处理(T2)	生物有机肥 3 750 kg/hm ² + 45% 复合肥 450 kg/hm ²
30%化肥减施+生物有机肥处理(T3)	生物有机肥 3 750 kg/hm ² + 45% 复合肥 315 kg/hm ²
30%化肥减施+生物有机肥+氨基酸叶面肥处理(T4)	生物有机肥 3 750 kg/hm ² + 45% 复合肥 315 kg/hm ² + 氨基酸叶面肥

1.4 测定项目与方法

1.4.1 玉米产量 待玉米成熟以后,每个小区采集全部植株,并称重。

1.4.2 生长指标 株高:在玉米拔节期,用直尺测量茎基部至顶端的长度;茎粗:用游标卡尺测定茎基

第一节间; SPAD 值: 采用 TYS-A 型叶绿素测定仪进行测定。

1.4.3 植物酶活性测定 植物酶活性测定参考李合生^[13]的方法: 玉米可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定; 玉米可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定; 玉米 Vc 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定。

1.4.4 植物光合测定 选择晴天的上午, 用 LI-6400 型号的光合仪进行测定。

1.4.5 土壤酶活性测定 土壤酶活性测定参考关松荫^[14]的方法: 土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定; 土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定; 土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定。

1.5 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析, 多重比较采用最小显著极差法(LSD); 采用 Excel 2007 软件对试验数据进行统计、整理和绘图。

化肥农学利用效率(AE)(kg/kg)=[施肥区产量(kg/hm²)-不施肥区产量(kg/hm²)]/ 施肥纯养分量(kg/hm²)^[15]。

2 结果

2.1 不同施肥处理对玉米产量的影响

图 1 所示为不同处理对玉米产量的影响。由图可知, 各处理玉米产量顺序依次为 T4(11.65 kg)>T1(11.15 kg)>T2(11.08 kg)>T3(9.70 kg)>CK(8.37 kg); 化肥减施的 T3 处理, 玉米产量有所下降, 而化肥减施加氨基酸叶面肥的 T4 处理, 玉米产量较 T3 处理有大幅提升,

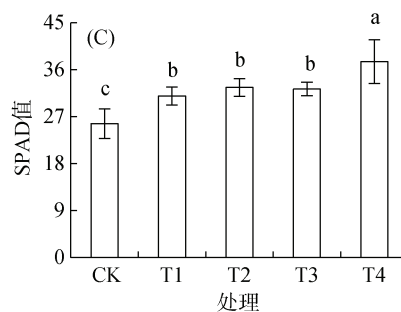
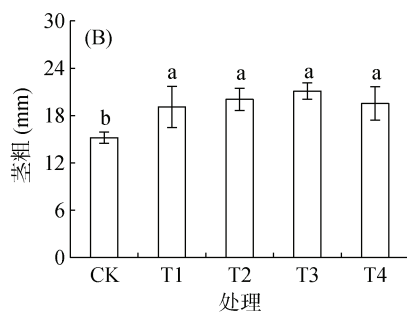
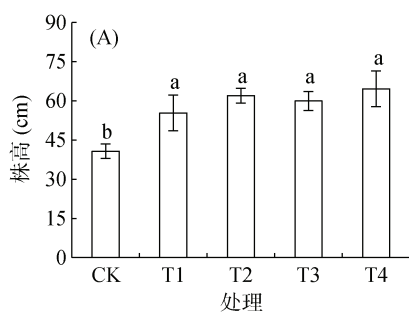
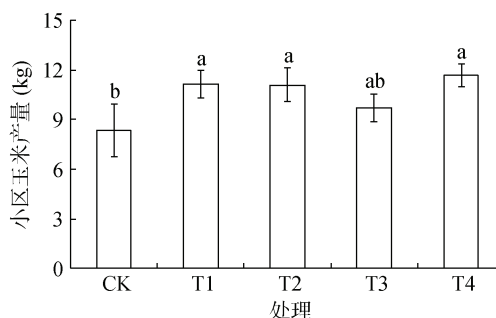


图 2 不同处理对玉米生长的影响

Fig. 2 Maize growth under different treatments

2.2 不同施肥处理对玉米品质的影响

图 3 所示为不同处理玉米可溶性蛋白、可溶性糖及 Vc 含量的变化情况。由可溶性蛋白含量的结果可知, CK 处理的可溶性蛋白含量最低, 为 6.71 mg/g; T4 处理的含量最高, 达到 8.63 mg/g; T3 处理相较于 T1 和 T2 处理, 玉米可溶性蛋白含量有所下降, 分别



(图中小写字母不同表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平, 下同)

图 1 不同处理对玉米产量的影响

Fig. 1 Maize biomass under different treatments

且与 T1、T2 处理差异不大, 但显著高于 CK 处理。

2.2 不同施肥处理对玉米生长的影响

图 2 所示为不同处理对玉米株高、茎粗和 SPAD 值的影响。由图 2A 可知, 玉米株高范围在 40.73 ~ 64.60 cm, 其中, CK 处理玉米株高最低, T4 处理植株最高; T1、T2、T3、T4 处理株高显著高于 CK 处理。由图 2B 可知, 各施肥处理玉米茎粗显著高于 CK, CK、T1、T2、T3 和 T4 各处理茎粗分别为 15.18、19.08、20.04、21.10 和 19.52 mm, 但 T1、T2、T3 和 T4 处理间没有显著差异。由图 2C 可知, T1 ~ T4 各处理玉米 SPAD 值显著高于 CK 处理, CK 处理玉米 SPAD 值为 25.66; 施用生物有机肥加全量化肥的 T2 处理较普通有机肥的 T1 处理, SPAD 值有所增加, 但二者之间没有显著性差异; 化肥减施的 T3 处理, 较全量化肥的 T2 处理 SPAD 值有所下降, 但随着氨基酸叶面肥的喷施(T4 处理), SPAD 值显著提高, T4 处理 SPAD 值达到 37.56。

降低了 1.30% 和 6.35%; T4 处理较 T3 处理显著增加玉米的可溶性蛋白含量。T2 处理玉米可溶性糖含量最高, 达到 104.0 mg/g, 但各处理间没有显著性差异。Vc 含量的结果表明, CK 处理玉米 Vc 含量最低, 为 22.2 mg/kg; 就全量化肥施用而言, 生物有机肥施用处理(T2)较普通有机肥处理(T1)提升了玉米的 Vc

含量,增幅达 16.62%,但没有达到显著性差异;生物有机肥施用各处理,化肥减施处理(T3)较全量化肥处理(T2)显著降低了 Vc 含量,而化肥减施配施氨基酸叶面肥处理(T4)则可以有效提升 Vc 含量,其中,T4 处理与 T2 处理之间,Vc 含量没有显著性差异。

2.4 不同处理对玉米生长光合特性的影响

表 2 所示为不同处理玉米光合特性的变化趋势,由表可知,各施肥处理组较 CK 相比增加了玉米的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,降低了玉米的胞间

CO₂ 浓度。全量化肥施用条件下,生物有机肥的施用(T2)较普通有机肥(T1)可以促进玉米净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的增加;而 T2 和 T3 处理相比,可以看出,减少 30% 化肥施用量(T3)降低玉米的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率值,并且提高了玉米胞间 CO₂ 浓度。在化肥减施 30% 的条件下,喷施氨基酸叶面肥(T4)较 T3 处理玉米净光合速率增加了 21.96%,气孔导度增加了 24.59%,蒸腾速率增加了 31.62%,而胞间 CO₂ 浓度减少了 69.63%。

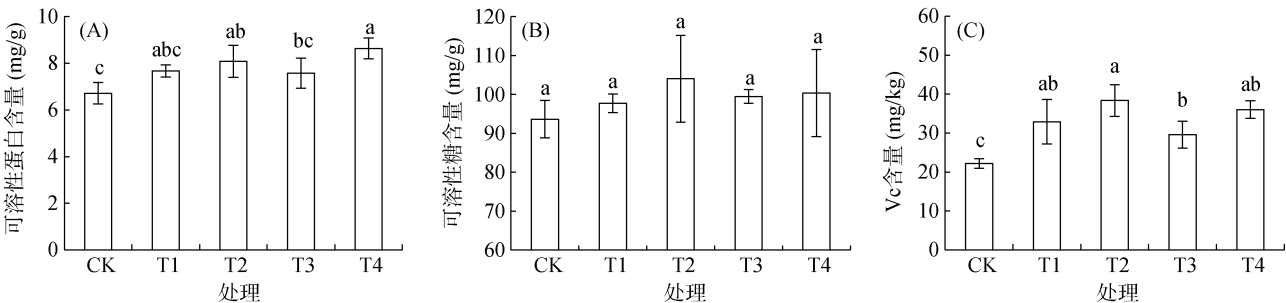


图 3 不同处理对玉米品质的影响

Fig. 3 Maize qualities under different treatments

表 2 不同处理对玉米生长光合特性的影响

Table 2 Maize photosynthetic characteristics under different treatments

处理	净光合速率(μmol/(m ² ·s))	气孔导度(mmol/(m ² ·s))	胞间 CO ₂ 浓度 (mmol/(m ² ·s))	蒸腾速率(mmol/(m ² ·s))
CK	26.58 ± 4.69 b	0.14 ± 0.03 b	129.30 ± 25.30 a	3.54 ± 0.78 b
T1	37.75 ± 4.37 ab	0.24 ± 0.05 a	88.55 ± 19.47 bc	4.69 ± 0.43 ab
T2	39.05 ± 5.56 a	0.25 ± 0.03 a	97.62 ± 16.18 abc	5.45 ± 1.23 a
T3	34.03 ± 7.89 ab	0.20 ± 0.02 a	116.09 ± 6.89 ab	4.34 ± 0.81 ab
T4	41.50 ± 6.76 a	0.25 ± 0.04 a	68.43 ± 13.30 c	5.72 ± 0.58 a

注:表中数据为均值±标准差(n=3),同列数据小写字母不同表示不同施肥处理间差异达 P<0.05 显著水平。

2.5 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

图 4 所示为不同处理土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶和脲酶活性变化。由图可知,土壤酸性磷酸酶和脲酶活性各处理之间差异不大。土壤蔗糖酶活性结果显示,CK、T1、T2、T3 和 T4 处理土壤蔗糖酶活性分别为 19.65、26.43、26.37、34.70 和 42.96 U/g;各施肥处

理较 CK 相比,显著提高了土壤蔗糖酶的活性,其中化肥减施且喷施氨基酸叶面肥的处理蔗糖酶活性最高,较 T1、T2 和 T3 处理分别显著提高了 62.54%、62.93% 和 23.82%;而全量化肥配施生物有机肥(T2)和普通有机肥(T1)处理之间,蔗糖酶活性变化不显著。

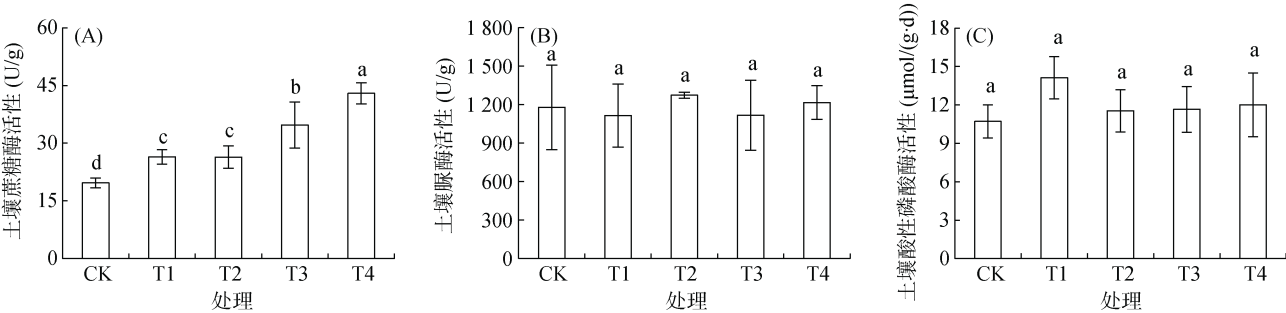


图 4 不同处理土壤酶活性含量变化

Fig. 4 Soil enzyme activities under different treatments

2.6 不同施肥处理对玉米肥料农学利用率的影响

表 3 所示为不同处理氮肥、磷肥和钾肥农学利用率。由表 3 可以看出,全量化肥施用,普通有机肥与生物有机肥处理的肥料综合利用率差异不大;而由 T4 处理可以看出,化肥减施并配施氨基酸叶面肥可以提高肥料综合农学利用率,T4 处理较 T1、T2 和

T3 处理分别提高了 2.06、2.06 和 3.92 kg/kg。对于氮肥、磷肥和钾肥单独的肥料农学利用率可以看出,钾肥的农学利用率最高,其次是磷肥,最后是氮肥;其中,全量化肥施用的 T1、T2 处理,氮肥、磷肥、钾肥的农学利用率变化不大;而化肥减施前提下,喷施氨基酸叶面肥的处理可以提高肥料农学利用率。

表 3 不同处理肥料农学利用率
Table 3 Fertilizer agronomic utilization rates under different treatments

处理	施肥量(kg/hm ²)		肥料用量(kg/hm ²)			玉米产量 (kg/hm ²)	AE _{综合} (kg/kg)	AE _N (kg/kg)	AE _P (kg/kg)	AE _K (kg/kg)
	有机肥	复合肥	氮肥(N)	磷肥(P ₂ O ₅)	钾肥(K ₂ O)					
CK	0	0	0	0	0	8 370.88	—	—	—	—
T1	6 000.00	450.00	233.70	160.50	116.10	11 155.58	5.46	11.92	17.35	23.99
T2	3 750.00	450.00	237.75	147.38	112.50	11 088.84	5.46	11.43	18.44	24.16
T3	3 750.00	315.00	151.13	127.13	92.25	9 704.85	3.60	8.83	10.49	14.46
T4	3 750.00	315.00	217.50	127.13	92.25	11 655.83	7.52	15.10	25.84	35.61

注: AE_{综合}指肥料综合农学利用率, AE_N、AE_P、AE_K 分别指氮肥、磷肥、钾肥的肥料农学利用率。

3 讨论

3.1 不同施肥处理对鲜食玉米生长及产量的影响

近年来,鲜食玉米作为粮、菜兼用型粗粮细吃品,因其营养丰富、口感细腻、风味独特,能满足人们营养、保健的消费需求,老少皆宜,逐步受到人们的青睐和关注^[16]。生物有机肥是一种有益微生物和有机肥结合的新型、高效、安全的复合肥料,综合了微生物肥料和有机肥的优点,可以改善土壤微生物群落结构、促进植物生长、提高作物品质^[17]。在本试验中,相比较于普通有机肥,生物有机肥的施用,表现出可以提高鲜食玉米株高、茎粗和 SPAD 值的趋势,但在本季试验中没有达到显著性差异(图 1)。闫宁和陈刚^[18]通过研究生物有机肥对温室黄瓜生长影响也得到了类似的结果,其结果表明,施用生物有机肥以后,黄瓜植株的株高、茎粗、叶数、叶长等指标均有所提升。在本研究中,化肥减施条件下,配施生物有机肥和氨基酸叶面肥可以显著提高玉米叶片的 SPAD 值,且小区产量高于常规施肥处理。这可能是因为,氨基酸叶面肥中以氨基酸作为配位体并螯合作物生长所需的微量元素,其中,小分子氨基酸可以直接被作物吸收利用,并且可以在没有光合作用的情况下参与作物机体蛋白质的合成,节省了无机态向有机物质转换的能量消耗,加速了机体的物质转换,促进干物质的有效积累^[19-20]。

3.2 不同施肥处理对玉米品质的影响

合理的施肥方法可以改善玉米的品质。植物可溶性蛋白质是植物所有蛋白质组分中最活跃的部分,包括各种酶源、酶分子和代谢调节物,能反映植物的

总代谢水平,其含量的高低是评价作物抗逆性的一个重要指标^[21-22]。

本研究中,生物有机肥的施入较常规施肥处理,玉米可溶性蛋白的含量提升了 5.39%;随着化肥的减施,可溶性蛋白含量下降 6.35%;但随着氨基酸叶面肥的施入,可溶性蛋白含量提高了 14.05%。化学肥料的减施,有降低玉米可溶性蛋白和 Vc 含量的趋势,而随着氨基酸叶面肥的喷施,则可以明显促进玉米可溶性蛋白和 Vc 含量的提升,有效地改善了玉米的品质。综合分析不同处理对玉米产量和光合特性的影响,可以发现,化肥减施有降低作物净光合速率的趋势,降低作物的品质,抑制作物生长^[23];而在化肥减施条件下叶面喷施氨基酸肥料,可以明显促进玉米净光合速率和蒸腾速率的提高,这对于营养物质运输、养分积累、品质改善等均有显著影响。

3.3 不同施肥处理对玉米光合特性的影响

光合作用是影响作物产量高低的主要因素,增强光合作用对玉米的生长发育和养分吸收等有重要的意义。影响玉米叶片光合特性的因素有很多,其中施肥是一种重要且实用的影响玉米光合性能的措施^[24]。在本研究中,施用微生物有机肥较普通有机肥处理,增加了玉米的光合速率和气孔导度,表明生物有机肥的施用能促进玉米叶片的光合作用,该结果与吴秀宁等^[25]的研究结果类似。但在本季试验中,差异没有达到显著水平,可能是因为试验时间较短,还需要进一步研究。另外,有研究表明,叶片净光合速率越大,越有利于植物的生长^[26]。在本研究中,可以发现,化肥减施配施生物有机肥和氨基酸叶面肥可以最大程度地提升玉米叶面净光合速率,表明该处

理对于玉米生长最有利。

3.4 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

土壤蔗糖酶活性高低与土壤中氮、磷、有机质、微生物数量及土壤呼吸强度均有密切联系,其酶促产物直接作用于作物的生长^[27]。本研究结果发现,化肥减施配施生物有机肥处理与其他处理相比,可以显著促进土壤蔗糖酶活性的提升,这与前人的研究结果一致^[28-29]。另外,蔗糖酶活性的高低也是表征土壤有机碳转化强弱的标志,有研究表明,提高土壤蔗糖酶活性可以提高土壤肥料利用率,促进作物生长^[30]。而氨基酸叶面肥配施生物有机肥的处理土壤蔗糖酶活性显著高于其他处理,这可能是因为氨基酸叶面肥的施用可以促进作物地下部的生长,其根系分泌物可以改善土壤微生物生活环境,提高土壤蔗糖酶的活性^[31]。

4 结论

1)化肥常规用量条件下,配施生物有机肥较普通有机肥,可以提高鲜食玉米株高、茎粗和叶片 SPAD 值;提高玉米可溶性蛋白、可溶性糖和 Vc 含量;增强玉米净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,降低叶片胞间 CO₂ 浓度;提高磷肥和钾肥的农学利用率。

2)化肥减施条件下,配施生物有机肥和氨基酸叶面肥与单纯的配施生物有机肥相比,可以明显提升鲜食玉米产量;显著提升玉米可溶性蛋白含量,促进玉米 Vc 含量的增加;提升玉米叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,显著降低胞间 CO₂ 浓度;显著促进土壤蔗糖酶活性;有效提高了氮肥、磷肥和钾肥的肥料农学利用率。

参考文献:

- [1] 王文桥. 我国设施蔬菜农药减施增效展望[J]. 中国蔬菜, 2016(5): 1-3.
- [2] 张国显, 白银霞, 范永怀, 等. 化肥减量配施有机物料对设施番茄氮素积累、分配与利用率的影响[J]. 北方园艺, 2019(3): 6-13.
- [3] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360.
- [4] 朱兆良. 合理使用化肥 充分利用有机肥 发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93.
- [5] 张国显, 范永怀, 赵凤艳, 等. 化肥减量配施有机物料对设施番茄生长、光合特性、产量及品质的影响[J]. 中国科技论文, 2018, 13(6): 698-703.
- [6] 刘才宇, 赵贵云, 李秀龄, 等. 减施化肥增施有机肥对藁干产量和品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2018(8): 75-78.
- [7] 陈正刚, 崔宏浩, 张钦, 等. 光叶苕子与化肥减量配施对土壤肥力及玉米产量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(3): 411-416, 496.

- [8] 张余莽, 周海军, 张景野, 等. 生物有机肥的研究进展[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(3): 37-40.
- [9] 杨雷, 冯作山, 余力, 等. 生物有机肥部分替代化肥对土壤肥力及甘薯产量的影响[J]. 南方农业, 2019, 13(10): 26-28, 32.
- [10] 徐军. 氨基酸叶面肥肥效初探[J]. 上海蔬菜, 2004(3): 58-59.
- [11] 王新玲. 氨基酸叶面肥对小白菜产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2018(2): 135-136.
- [12] 孙梅, 孙耿, 马颖榴, 等. 氨基酸叶面肥对不同蔬菜产量和品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2018(2): 34-37.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] 张洋, 张荣. 滴灌条件下不同施肥处理对马铃薯水分和肥料利用率的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2014(12): 46-51.
- [16] 许金芳, 宋国安, 刘佳. 鲜食玉米研究现状与发展对策[J]. 玉米科学, 2007, 15(6): 40-42, 46.
- [17] 李亚娟, 邱慧珍, 高启发, 等. 生物有机肥对保护地西瓜生长、产量和品质的影响[J]. 土壤与作物, 2017, 6(2): 127-131.
- [18] 闫宁, 陈刚. 生物有机肥对日光温室黄瓜农艺性状和经济效益的影响[J]. 北方园艺, 2014(3): 30-32.
- [19] 申明, 成学慧, 谢荔, 等. 氨基酸叶面肥对砂梨叶片光合作用的促进效应[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2): 81-86.
- [20] 王蓓, 高旭, 王甜甜, 等. 叶面喷施含氨基酸水溶肥料在辣椒和豇豆上的肥效[J]. 土壤, 2017, 49(4): 692-698.
- [21] 周璇, 宋凤斌. 不同种植方式下玉米叶片叶绿素和可溶性蛋白含量变化[J]. 土壤与作物, 2012, 1(1): 41-48.
- [22] 赵政, 陈巍, 王欢, 等. 木霉微生物肥与减量化肥配施对番茄产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(5): 1243-1253.
- [23] 付宇, 赵天宏, 孙加伟, 等. 大气 O₃ 浓度升高对玉米光合作用和籽粒品质的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(6): 120-124.
- [24] 彭辉辉, 刘强, 荣湘民, 等. 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 132-135.
- [25] 吴秀宁, 张军, 赵永平, 等. 生物有机肥对夏玉米光合特性和产量的影响[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(2): 33-35.
- [26] 朱代强. 生物有机肥部分替代化肥对蒜苗生长生理、养分吸收、产量及品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [27] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [28] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [29] 张静, 杨江舟, 胡伟, 等. 生物有机肥对大豆红冠腐病及土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 548-554.
- [30] 秦闯, 李硕, 郭艳杰, 等. 增施生物有机肥减施化肥对夏玉米土壤生物指标的影响[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(6): 17-23.
- [31] 贾娟, 李硕, 高夕彤, 等. 氨基酸水溶肥与菌剂配施对松花菜生长及土壤生态特征的作用效果[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(1): 17-23.