

沼肥与化肥配施对东北春玉米光合生理特性及产量品质的影响

艾俊国¹, 孟瑶², 于琳², 顾万荣^{1*}, 李晶¹, 曾繁星¹, 魏湜¹

(1. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农垦科学院, 黑龙江 哈尔滨 150038)

摘要: 采用田间小区试验方法, 在总施氮量相同的条件下, 研究不同比例沼肥与化肥配施后对东北春玉米叶片光合特性及产量、品质的影响。结果表明, 适宜比例的沼肥与化肥配施后, 玉米叶片的光合作用参数改善明显, 叶片叶绿素含量 (SPAD 值) 提高、光系统 II 原初光能转化效率 (F_v/F_m)、PSII 潜在活性 (F_v/F_0), 光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 ($Cond$) 增加, 这有利于玉米植株的光合作用及碳水化合物的形成。A1 处理 (2 000 g 沼肥 + 500 g 化肥) 配施后, 叶片光合效率高, 籽粒产量最高, 达到了 11 344.1 kg/hm², 不同沼肥与化肥配施后的产量特征表现为 A1 > A2 > A3 > A4 > CK。籽粒品质分析结果表明, 适宜比例的沼肥与化肥配施后, 玉米籽粒的粗蛋白、粗脂肪及粗淀粉等含量增加, 同时籽粒含水量下降, 这有利于东北地区春玉米的适期收获。

关键词: 沼肥; 化肥; 玉米; 光合生理; 产量; 品质

中图分类号: S141; S143; S513

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 04-0059-07

当前, 随着生态农业的发展, 厌氧发酵残留物沼肥 (沼渣与沼液) 的再利用已成为人们普遍关注的问题。沼肥具有营养物质丰富, 易被植物吸收等优点^[1-3], 富含氮、磷、钾、腐植酸和粗蛋白, 腐植酸和粗蛋白分别是猪粪便的 2~3 倍^[4]; 同时还有丰富的钙、钠等多种中、微量元素, 19 种氨基酸, 多种生长素、蛋白质、抗菌素、赤霉素、维生素、糖类、核酸、有机酸、微生物和酶类等^[5-7], 是一种优质肥料, 可促进作物生长, 起到壮苗抗病作用^[8-10], 改良土壤并减少对自然生态造成的危害^[11-12]。目前, 生产上有直接利用沼液浸种^[13]、沼液育菇、沼液喷施果树和蔬菜^[14-18]的方法, 还可用沼液养鱼^[19]、喂猪^[20]等, 取得了一定的应用效果。近些年, 沼肥在农作物上的推广应用面积不大, 在马铃薯、小麦、玉米等作物上有初步的应用^[21-23]。沼肥施入土壤或喷施叶面, 提高了植株体内的生理活动, 促进了光合作用的进行。郝鲜俊等^[24]研究结

果表明, 沼渣做底肥、叶片喷施沼液, 可提高迷你黄瓜叶绿素和维生素含量, 降低硝酸盐含量。Haga^[3]的研究表明, 叶面喷施可显著提高叶绿素含量, 增加叶片厚度, 从而增强光合作用, 提高作物产量。当前黑龙江省沼肥与化肥配施应用在大田作物上的研究较少, 沼肥与化肥配施后对玉米生长发育的影响机理少见报道。本文旨在探讨沼肥与化肥配施对玉米叶片光合特性、物质积累及产量、品质的影响, 从而为实现农业生态系统养分的良性循环提供科学依据, 并为沼肥最终在黑龙江省玉米生产上应用提供理论和实验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试玉米种子为郑单 958。供试的沼肥取自黑龙江省海林农场绿源沼气站, 沼肥是以作物秸秆、牛粪和少量绿肥为发酵原料经厌氧发酵而成, 发酵半年左右, 细腻均匀, 沼渣和沼液基本没有分层。2012~2013 年度沼肥的养分为全氮 13.47 g/kg, 全磷 (P_2O_5) 6.263 g/kg, 全钾 (K_2O) 8.104 g/kg, 碱解氮 1 082 mg/kg, 有效磷 (P_2O_5) 1 274 mg/kg, 速效钾 (K_2O) 1 688 mg/kg, 有机质 228.7 g/kg。化肥以尿素 (N 46%) : 磷酸二铵 (P_2O_5 48%) : 硫酸钾 (K_2O 44.83%) = 2:2:1 比例混合后待用。

1.2 试验设计

试验于 2012~2013 年在东北农业大学香坊农场

收稿日期: 2014-07-30; 最后修订日期: 2014-11-21

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划 “三江平原规模化农业循环技术集成与示范” 课题 (2012BAD14B06) 的子专题 “沼渣沼液施用土壤后玉米根系生长适应性特征的研究” (2012BAD14B06-01-08)。

作者简介: 艾俊国 (1988-), 男, 黑龙江齐齐哈尔龙江县人, 硕士研究生, 研究方向为循环农业与作物高产栽培。E-mail: neau9266@163.com。

通讯作者: 顾万荣, E-mail: wanronggu@163.com。

试验基地进行, 随机区组设计, 3 次重复, 小区面积 56 m^2 , 每个小区的垄长 8 m , 10 行, 行距 0.7 m 。选择肥力均匀的土壤, 土壤类型为黑钙土, $0 \sim 20 \text{ cm}$ 耕层碱解氮 185 mg/kg , 速效钾 (K) 185.5 mg/kg , 有效磷 (P) 65.13 mg/kg , 有机质 26.45 g/kg , pH 值 6.78 。4 月 29 日播种, 基本苗为每公顷 7 万株,

在播种前开沟, 按照先沼肥、后化肥的顺序均匀施于沟内, 待 30 min 后, 用锄头带土轻轻耨沟, 然后按照密度绳位置, 人工点播两粒, 待 1 叶 1 心时进行间苗, 其他田间管理按东北高产玉米田块进行。

试验设 5 个处理, 其中对照 (CK) 为单施化肥, 具体配施比例及各营养成分见表 1。

表 1 各处理沼肥与化学肥料配施比例及其营养成分含量

处理	沼肥 (%)	复合肥 (%)	总养分 N 含量 (g/kg)	总养分 P_2O_5 含量 (g/kg)	总养分 K_2O 含量 (g/kg)	有机质含量 (%)
A1	80	20	5	6.974	8.750	22.87
A2	60	40	5	6.410	7.708	22.87
A3	40	60	5	5.847	6.667	22.87
A4	20	80	5	5.283	5.625	22.87
CK	0	100	5	4.720	4.583	22.87

1.3 测定指标及方法

仪器测定选择的叶片为功能叶片倒三叶, 所有测定重复 3 次。用 SPAD 计测定功能叶片叶绿素含量。用 WALZPAM-2100 便携式叶绿素荧光测定仪测定叶片叶绿素荧光参数, 如光系统 II 原初光能转化效率 (F_v/F_m)、PSII 潜在活性 (F_v/F_0)。用光合作用测定仪 Li-6400XT 测定叶片光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 ($Cond$) 等参数。选择太阳直射较弱的阴天或多云天气, 使用 ECA-GC02 植物冠层分析系统, 在不同时期分 6 次获取观测点的图象, 然后通过软件计算得到冠层叶片透光率等参数。

产量计算公式: 产量 (kg/hm^2) = 样点株数 ÷ 样点面积 (m^2) × $10\,000$ × 每株平均穗粒数 × 百粒重 × 0.85×10^{-5} 。3 次重复取平均值, 折合为每公顷产量。利用 Perten 8620 近红外谷物分析仪测定玉米籽粒品质。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 DPS 7.05 软件进行数据处理、作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片光合生理特征的影响

2.1.1 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片 SPAD 值的影响

图 1 显示, 随着玉米生育进程的推进, 不同沼肥与化肥配施处理后的叶片 SPAD 值呈先升后

降的趋势, 在灌浆期达到最大值, 至成熟期 SPAD 值最小。以 A1 处理为例, 拔节、抽雄、吐丝、灌浆及成熟期的 SPAD 值分别达到 49.45、52.28、61.02、70.03 和 39.13, 分别高出对照 22.2%、18.9%、20.4%、26.8% 和 26.8%。这表明合理的沼肥与化肥配施土壤后, 玉米叶片的光合特征参数改善明显, 为后期玉米产量的形成奠定了物质基础。

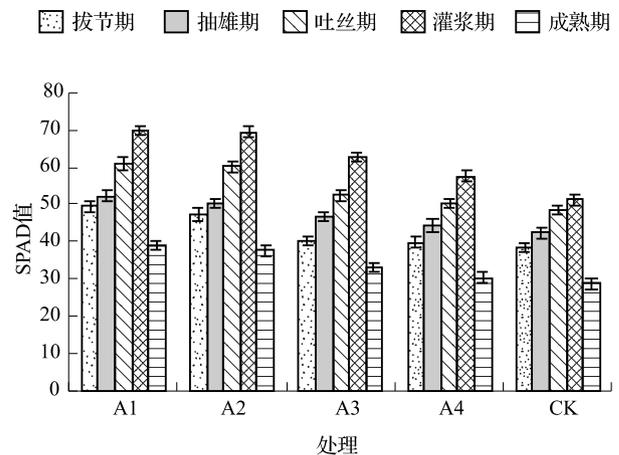


图 1 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片 SPAD 值的影响

2.1.2 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片 F_v/F_m 值的影响

F_v/F_m 为暗反应下 PS II 最大光能转换效率, 其变化是由非光化学猝灭效率变化引起的, 表示原初光能转化效率与光合作用有关。表 2 表明, 沼肥与化肥配施处理后, 玉米在整个生育期 F_v/F_m 值呈先

升高后降低,呈倒“V”字形变化,在吐丝期达到最大值,光合作用反应增强,碳水化合物合成较多。与对照相比,吐丝期 A1 处理高出对照 29.3%,差异达显著水平,这说明适宜比例的沼

肥与化肥配施有利于增强玉米叶片的 PSII 活性,提高光化学效率,促进玉米叶片将捕获的光能转化为化学能,过多化肥的施用不利于玉米叶片的光合作用。

表 2 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶 F_v/F_m 的影响

处理	拔节期	抽雄期	吐丝期	灌浆期	成熟期
A1	0.65 ± 0.14a	0.71 ± 0.14a	0.75 ± 0.14a	0.73 ± 0.16a	0.67 ± 0.09a
A2	0.63 ± 0.11ab	0.68 ± 0.21b	0.73 ± 0.16b	0.71 ± 0.19b	0.65 ± 0.14ab
A3	0.57 ± 0.21cd	0.60 ± 0.23cd	0.63 ± 0.15cd	0.61 ± 0.16c	0.59 ± 0.15c
A4	0.55 ± 0.16d	0.58 ± 0.21d	0.61 ± 0.14d	0.59 ± 0.13d	0.57 ± 0.18d
CK	0.51 ± 0.15d	0.54 ± 0.12d	0.58 ± 0.21d	0.56 ± 0.19d	0.54 ± 0.16d

注:同一列标以不同字母的值在 0.05 水平上显著差异 (n=3)。下同。

2.1.3 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片 F_v/F_0 值的影响

F_v/F_0 用来表示 PS II 的潜在活性,是 F_v/F_m 的另一种表达形式。如表 3 所示,随着生育进程的推进,各处理的 F_v/F_0 呈先升高后降低,在吐丝期达到最大值, A1 处理玉米叶片的 F_v/F_0 高于其他处

理。适宜比例的沼肥与化肥配施有利于增强 PSII 的潜在活性。整个生育期表现为 A1 处理下功能叶片的光能转化效率相对较高,光合性能较强,随着 A2、A3、A4 和 CK 处理中化肥配施比例的增加,玉米叶片的 F_v/F_0 降低,这在一定程度上抑制了玉米的 PS II 的潜在活性,降低了光合作用。

表 3 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶 F_v/F_0 的影响

处理	拔节期	抽雄期	吐丝期	灌浆期	成熟期
A1	2.49 ± 0.51a	2.87 ± 0.75a	3.64 ± 0.73a	3.54 ± 0.21a	3.51 ± 0.28a
A2	2.45 ± 0.73a	2.67 ± 0.21ab	3.57 ± 0.80ab	3.48 ± 0.73a	3.47 ± 0.66a
A3	2.16 ± 0.80cd	2.18 ± 0.65c	2.56 ± 0.73cd	2.36 ± 0.80b	2.26 ± 0.51cd
A4	1.96 ± 0.83d	2.08 ± 0.51c	2.16 ± 0.21d	2.04 ± 0.93b	1.97 ± 0.85d
CK	1.85 ± 0.61d	1.97 ± 0.93c	2.08 ± 0.58d	1.95 ± 0.66b	1.84 ± 0.73d

2.1.4 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片光合速率的影响

图 2 显示,随着玉米生长发育进程的推进,玉米功能叶片的光合速率呈现倒“V”字型,在吐丝期达到最大值,吐丝期后期的光合速率逐渐减小。以抽雄期为例,沼肥与化肥配施处理后, A1、A2、A3 和 A4 处理的叶片光合速率分别达到了 32.64、30.15、27.31 和 26.89 $\text{CO}_2 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,玉米不同时期功能叶光合速率表现为 $A1 > A2 > A3 > A4 > CK$ 。A1 处理较其他处理更有利于延缓玉米叶片衰老,提高叶片光合速率,使其同化更多的有机物质,有利于充实籽粒而提高产量。

2.1.5 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片蒸腾速率的影响

图 3 显示,随着玉米生育进程的推进,各个沼

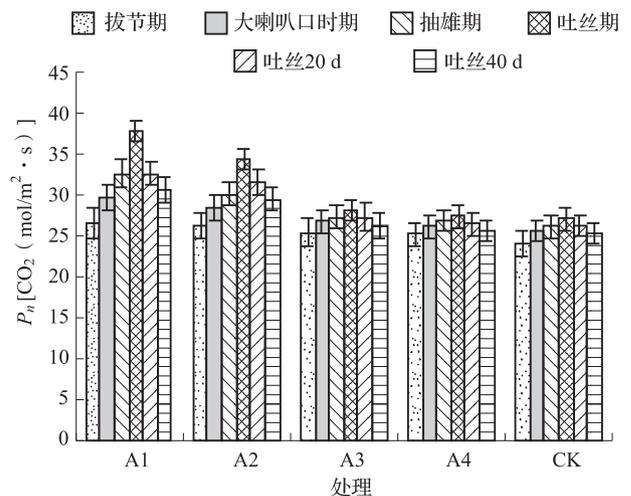


图 2 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶光合速率 (P_n) 的影响

肥与化肥配施处理下的玉米叶片蒸腾速率均呈现先升高后降低的趋势,并在吐丝期达到最大。以抽雄期为例,沼肥与化肥配施处理后功能叶光合速率表现为 A1 > A2 > A3 > A4 > CK, A1、A2、A3 和 A4 处理的蒸腾速率分别达到了 6.93、6.84、5.84 和 5.62 g/(m²·h), 而对照 CK 的玉米叶片蒸腾速率数值为 5.25 g/(m²·h), 结果表明, 适宜比例的沼肥与化肥配施有利于促进玉米叶片蒸腾速率的增加, 从而改善了玉米叶片的光合速率。

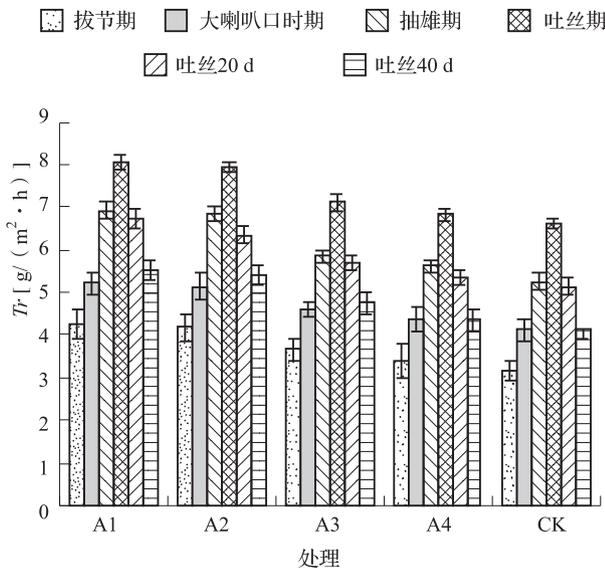


图3 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶蒸腾速率 (*Tr*) 的影响

2.1.6 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片气孔导度的影响

图4显示, 随着玉米生育期的进行, 功能叶气孔导度值呈现先升高后降低的趋势, 呈倒“V”字型, 在吐丝期达到最大, 并在后期逐渐降低, 说明叶片中 CO₂ 浓度在吐丝期达到最大, 光合作用能力

增强, 有利于碳水化合物的合成。A1 处理的玉米叶片气孔导度值高于其他处理, 有利于光合作用的进行, 有利于籽粒灌浆的顺利进行, 这为最终产量的形成奠定基础。

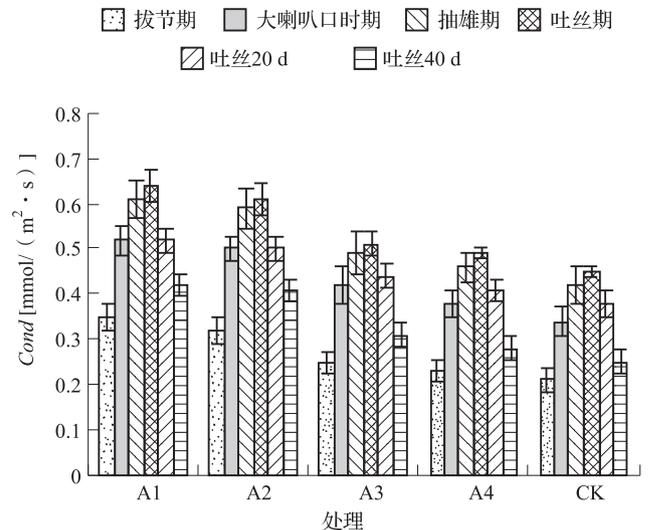


图4 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶气孔导度 (*Cond*) 的影响

2.1.7 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期功能叶片透光率的影响

表4表明, 各处理的玉米生育期中, 底层透光率变化与光合速率变化趋势相一致, 在玉米拔节后, 底层透光率先逐渐降低, 到灌浆期又逐渐提高呈“V”字型分布, 在吐丝期达到最小, 而穗位层透光率也同样显示由吐丝期到灌浆期, 透光率逐渐上升。适宜比例的沼肥与化肥配施后, 玉米植株的底层及穗位层的透光率改善明显, A1 处理表现最优化, 与单施化肥差异显著, 这为玉米后期的抗衰老及促进产量形成奠定基础。

表4 沼肥与化肥配施对东北春玉米不同时期透光率的影响 (%)

处理	底层透光率			穗位层透光率		
	拔节后	抽雄期	吐丝期	灌浆期	吐丝期	灌浆期
A1	17.96 ± 0.17c	2.93 ± 0.10c	2.44 ± 0.31c	3.28 ± 0.25c	12.41 ± 0.20c	14.58 ± 0.14c
A2	18.85 ± 0.22c	3.62 ± 0.35c	2.58 ± 0.38c	3.62 ± 0.35c	13.15 ± 0.15c	16.84 ± 0.24c
A3	22.41 ± 0.42b	4.12 ± 0.15b	3.21 ± 0.41b	5.24 ± 0.25b	16.73 ± 0.29b	19.76 ± 0.56b
A4	23.17 ± 0.32a	4.61 ± 0.32a	3.43 ± 0.51a	5.43 ± 0.15a	17.76 ± 0.38a	19.93 ± 0.36a
CK	23.25 ± 0.34a	5.09 ± 0.14a	3.96 ± 0.08a	5.81 ± 0.22a	18.96 ± 0.16a	21.22 ± 0.13a

2.2 沼肥与化肥配施对东北春玉米产量及籽粒品质的影响

表5表明, 适宜比例的沼肥与化肥配施有利于

增加玉米的产量构成因子。A1 处理的产量高于其他处理, 比对照增加了 65.3%, 达到 11 344.1 kg/hm², 过多的单施化肥不利于玉米产量的形成。玉

米产量和产量构成因素的相关系数由大到小的顺序为行粒数 (0.96) > 出籽率 (0.94) > 穗重 (0.90) > 穗粒数 (0.88) > 株高 (0.87) > 穗长 (0.83) > 穗位高 (0.82) > 千粒重 (0.78) > 穗粗 (0.70) > 穗行数 (0.62)。

表5 沼肥与化肥配施对东北春玉米产量构成的相关性及其结果分析

	A1	A2	A3	A4	CK	相关系数
株高	275.3	267.4	230.2	208.5	200.3	0.87**
穗位高	124.3	114.6	91.5	87.4	81.4	0.82*
穗重	248.0	240.0	200.0	196.0	130.0	0.90**
穗长	18.7	17.5	15.6	15.1	14.7	0.83*
穗粗	5.31	5.16	4.73	5.10	4.48	0.70
穗行数	13.6	14.5	14.4	15.5	14.3	0.62
行粒数	34.2	32.2	30.0	27.2	26.6	0.96**
穗粒数	467.6	466.2	432.8	421.0	401.4	0.88**
千粒重	285.4	278.3	236.2	213.4	201.1	0.78*
出籽率	82.3	81.7	78.2	75.4	72.3	0.94**
产量	11 344.1	11 028.6	10 697.6	8 689.8	6 861.8	—

注: **表示相关性极显著 (P<0.01), *表示相关性显著 (P<0.05), 株高 (cm), 穗位高 (cm), 穗重 (g), 穗长 (cm), 穗粗 (cm), 千粒重 (g), 出籽率 (%), 产量 (kg/hm²)。

表6显示, 不同处理玉米籽粒粗蛋白、粗脂肪、粗淀粉表现为 A1 > A2 > A3 > A4 > CK 的趋势, 且含水量降低明显, A1 处理下的玉米籽粒品质改善明显, 有利于玉米籽粒的机械化收获。

表6 沼肥与化肥配施对东北春玉米籽粒品质的影响 (%)

处理	粗蛋白	粗脂肪	粗淀粉	含水量
A1	10.4a	4.5a	72.2a	12.5d
A2	9.9a	4.3a	71.9a	12.3d
A3	9.4bc	3.9bc	70.2b	13.5c
A4	9.2c	3.7c	69.8c	14.8b
CK	8.8c	3.2c	69.2c	15.6a

3 讨论

3.1 沼肥与化肥配施对东北春玉米叶片光合特性的影响

冯伟等^[22]研究表明, 基施 25% 沼液氮 + 追施 75% 尿素氮处理, 可提高叶片 PSII 潜在活性 (F_v/F_0)、PSII 光化学最大效率 (F_v/F_m) 和荧光光化学猝灭系数 (qP), 提高 PSII 量子效率 ($\Phi PSII$) 和电子传递速率 (ETR), 光合功能增强, 籽粒产量提高。余海兵^[25]研究表明, 在沼肥对糯玉米光合特性

的研究中, 沼肥能够提高净光合速率, 在播种 60 d 后的增加幅度在 17.8% ~ 23.7% 之间, 增加幅度最大, 气孔导度, 蒸腾速率与光合速率呈正相关。本实验研究结果与以上结论一致, 沼肥: 化肥 = 80%: 20% 的处理, F_v/F_m 、 F_v/F_0 、光合速率、气孔导度、蒸腾速率都达到最大值, 分别比对照最多增加了 15.5%、38.18%、11.94%、25%、14.92%, 提高了玉米植株的光合能力, 有利于有机质的积累。由于 F_v/F_m 的提高, 增大了 PSII 潜在活性, 使得 $\Phi PSII$ 和 ETR 增高, 促进了光合作用, 叶片在吸收 CO₂ 进行光合作用会蒸腾部分水分, 而气孔导度的大小直接影响着蒸腾速率, 所以对光合都有一定影响, 气孔导度增大, 增大了 CO₂ 吸收量, 促进了蒸腾作用, 进而使得光合特性升高。

3.2 沼肥与化肥配施对东北春玉米产量和品质的影响

王家军等^[26]人研究表明, 施用沼渣 30.0 t/hm² 比常规施肥处理能显著促进玉米增产, 比对照增产 18.57%, 玉米粗蛋白、氨基酸和淀粉含量较常规施肥处理分别提高了 1.7、0.16、1.24 个百分点。祝延立等^[27]在大田玉米研究中, 用 30 ~ 45 t/hm² 沼渣与 450 ~ 600 kg/hm² 复合肥配施, 产量比对照增加 6.67% ~ 16.03%, 赵庆祥等^[28]用 70% 的沼渣 + 25% 沼液 + 5% 碳酸氢氨混合沤制后, 施用于玉

米,产量比对照提高了 17.85%。大量实验表明,沼肥具有增加玉米产量、提高玉米品质的作用。本实验研究结果显示,沼肥:化肥 = 80%:20% 与对照相比,产量增加。籽粒品质结果表明,以粗淀粉含量为例,A1、A2、A3 和 A4 处理分别比对照高出 3%、2.7%、1% 和 0.6%;且与对照相比,其收获的籽粒含水量下降,其中 A1 处理的收获含水量为 12.5%,这在一定程度上有利于东北地区玉米的机械化收获。沼肥与化肥的配比,使得氮磷钾与其他营养元素有机结合,能够提高玉米的结实率,百粒重,进而影响产量的形成。

3.3 沼肥与化肥配施在田间生产上的应用前景

“秸秆还田”、“秸秆腐解”、“秸秆厌氧发酵”等资源再利用的方式既能够达到资源的循环利用,又能够促进作物的生长发育,为作物提供营养物质。秸秆经过厌氧发酵产生沼肥(沼渣、沼液),含有丰富的营养元素,并且在厌氧过程中有害物质减少,配施化肥(提供丰富 NPK),为作物生长提供良好的营养环境,在田间作物生产上起到了非常重要的作用,且有良好的应用前景。近些年,沼肥与化肥配应用在玉米、马铃薯、水稻、豆类^[29-32]的上效果显著。理论研究与试验初探证明了沼肥与化肥配施的可行性,而且改善效果明显,提高了作物的产量、改善了果实的品质。

受国家产业政策及黑龙江寒地气候的影响,目前黑龙江省沼气发展及沼肥利用进展缓慢。当前制约黑龙江沼肥利用的限制因素集中在以下几个方面:一是季节因素造成的产沼气不均及沼肥产生量不足,二是北方“四位一体”生态农业模式中沼肥利用模式有发展,但是普及率不高,三是沼气工程废弃及闲置率较高,重建轻管,四是沼肥在生产上的使用配套技术研究不够,五是沼肥施用的配套农机具开发缺乏及劳动力成本较高等。针对当前黑龙江省沼肥利用的种种限制因素,建议一要完善扶持政策对沼肥利用的关键环节实施鼓励和补贴政策;二要加大沼肥综合利用技术的研究,加强沼肥利用的科技创新及其规范化施用,研究沼肥在增产、提质、抗病、肥田等方面的机制;三要加强宣传和试验示范,调动农户沼肥综合利用的积极性,建立沼肥利用的服务体系。从而更好地实现沼气能源建设与农业生产有机结合,更好地促进黑龙江省循环农业的发展。

4 结论

沼肥与化肥合理配施后能改善东北春玉米叶片光合特性,叶片叶绿素含量(SPAD 值)提高、光系统 II 原初光能转化效率(F_v/F_m)、PSII 潜在活性(F_v/F_0),光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度($Cond$)增加,这有利于玉米植株的光合作用及碳水化合物的形成。沼肥与化肥合理配施能够提高玉米籽粒产量及品质,其中 A1 处理(2 000 g 沼肥 + 500 g 化肥)配施土壤后,叶片光合效率高,籽粒产量最高,达到了 11 344.1 kg/hm²,玉米籽粒品质如粗蛋白、粗脂肪及粗淀粉等含量增加,同时籽粒收获含水量下降,这有利于东北地区春玉米的适期收获。

参考文献:

- [1] 周孟津. 沼气实用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] Harada Y. Treatment and utilization of animal wastes in Japan [A]. Proceedings of food and fertilizer technology center for the Asian and Pacific region [C]. Taipei: FFTC/ASPAC, 1995.
- [3] Haga K. Animal waste problems and their solution from the technological point of view in Japan [J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 1998, 32 (3): 203-210.
- [4] Carlson B. The linking biogas project - waste to fuel [C]. Galway: Anaerobic Digestion Conference, 1999.
- [5] 刘荣厚, 赵玲, 武丽娟. 北方农村能源生态模式沼气发酵原料及其产物特性的测试与分析 [J]. 中国沼气, 2005, (23): 218-221.
- [6] Svensson L M, Christensson K, Björnsson L. Biogas production from crop residues on a farm - scalelevel in Sweden: scale, choice of substrate and utilisation rate most important parameters for fina feasibility [J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2006, 29 (7): 137-142.
- [7] Taylor I P, Wilson B, Mills M S. Comparison of microbial, number sand enzymatic activities in surface and subsoils using, various techniques [J]. Soil Biol Biochem, 2002, (34): 387-401.
- [8] Kandler E, Palf S, Stemmer M. Tillage changes microbial biomass and enzyme activities in particle - size fractions of ahaplic Chernozem [J]. Soil Biol Biochem, 1999, (31): 1253-1264.
- [9] Luo J, Tillman R W, White R E. Variation in denitrification, activity with soil depth under pasture [J]. Soil Biol Biochem, 1998, 30 (7): 897-903.
- [10] Parthasarathi K, Ranganathan L S. bLongevity of microbial and enzyme activity and their influence on N P K content in press mud [J]. Vermicast S, Eur J Soil Bio L, 1999, 35 (3): 107-113.

- [11] Jothi G, Pugalendhi S, Poomima K. Management of root - knot nematode in tomato with biogas slurry [J]. Bioresource Tehnology, 2003, 89: 169 - 170.
- [12] Garg R N, Pathak H, Das D K, et al. Use of flyash and bio-gas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, 107: 1 - 3.
- [13] 张继红, 靳世峰, 何宝林, 等. 不同浓度沼液浸种对甜瓜种子萌发的影响 [J]. 长江蔬菜, 2012, 20: 31 - 34.
- [14] 李彧, 蒋芳玲, 刘明池, 等. 不同沼液浓度对番茄、西瓜种子萌发的影响 [J]. 蔬菜, 2011, (7): 55 - 57.
- [15] 武海英, 杨海燕. 沼渣栽培蘑菇技术 [J]. 甘肃农业, 2005, (10): 181.
- [16] 吴亚泽, 师朝霞, 张明娇. 沼渣沼液在果树上的应用 [J]. 农业工程技术 (新能源产业), 2009, (7): 38 - 39.
- [17] 李兴泰. 果树施用沼肥技术 [J]. 福建农业, 2013, (4): 34.
- [18] 高同国, 陈楠, 李伟群, 等. 新型高效沼液营养液在蔬菜产量及品质上的效果 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (21): 12684 - 12686.
- [19] 闵嘉钰, 雍杰, 杨五一. 沼肥养鱼的初步研究 [J]. 水产养殖, 1988, (2): 6 - 11.
- [20] 杨素英. 沼液喂猪的饲养技术 [J]. 北京农业, 2007, 11 (31): 33 - 34.
- [21] 张乾元, 李兆丽. 沼液叶面喷施和灌根对马铃薯生长与产量的影响 [J]. 中国沼气, 2008, 26 (5): 30 - 32.
- [22] 冯伟, 管涛, 王永华, 等. 沼液与尿素配施对冬小麦光合特性及籽粒产量的影响 [J]. 作物学报, 2010, 36 (8): 1401 - 1408.
- [23] 王向阳, 白金顺, 志水胜好, 等. 施肥对不同种植模式下春玉米光合特性的影响 [J]. 作物杂志, 2012, (9): 39 - 43.
- [24] 郝鲜俊, 洪坚平, 高文俊. 沼液沼渣对温室迷你黄瓜品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007, (5): 40 - 43.
- [25] 余海兵. 沼肥对糯玉米生长发育、品质及土壤特性的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2007. 31 - 33.
- [26] 王家军, 刘杰, 张瑞萍, 等. 沼渣与化肥配合施用对玉米生产的影响 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (5): 48 - 50.
- [27] 祝延立, 那伟, 庞凤仙, 等. 沼渣与化肥配施对玉米生长及产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (12): 6407 - 6408, 6411.
- [28] 赵庆祥, 李焕明. 沼肥不同施用方法对玉米产量的影响 [J]. 耕作与栽培, 2004, (5): 50, 58.
- [29] 莫国秀, 田洪刚. 沼肥在玉米上的施用效果研究 [J]. 农技服务, 2012, 29 (9): 1037 - 1038.
- [30] 赵新颖, 黄泉, 高星爱, 等. 沼肥与化肥配施对马铃薯生长及产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (12): 7133 - 7134.
- [31] 谭璨灿, 陈洪亮, 田洪刚. 沼肥、农家肥和化肥在水稻生产上的使用效果比较 [J]. 农技服务, 2013, 30 (5): 482 - 483.
- [32] 付斌, 郑宝华, 胡晶, 等. 沼肥施用对豆类品质和土壤理化性状的影响 [J]. 中国沼气, 2014, 32 (2): 45 - 47.

Effects of combined application of biogas manure and chemical fertilizer on leaf photosynthesis, yield and quality of spring maize in Northeast of China

AI Jun-guo¹, MENG Yao², YU Lin², GU Wan-rong^{1*}, LI Jing¹, ZENG Fan-xing¹, WEI Shi¹ (1. Agricultural College of Northeast Agricultural University, Harbin Heilongjiang 150030; 2. Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Harbin Heilongjiang 150038)

Abstract: Two-year field plot experiment was carried out to study the photosynthetic characteristics and yield and quality when biogas manure was jointly applied with chemical fertilizer in Northeast spring maize production of China. Under the control of total input of nitrogen application, the effects of different proportion of biogas manure and the chemical fertilizer on maize photosynthesis, yield and quality were studied. The results showed that suitable proportion of biogas manure and chemical fertilizer in soil could improve maize leaf photosynthetic characteristics, and increase leaf chlorophyll content (SPAD value), transformation of primary energy efficiency of PSII optical system (F_v/F_m), the potential activity of PSII (F_v/F_0), photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), stomatal conductance ($Cond$) and photosynthetic rate. The treatment of A1 (2 000 g biogas manure + 500 g chemical fertilizer) showed the best performance on grain yield, which was as high as 11 344.1 kg/hm². The trend of yield among the treatments showed as follows: A1 > A2 > A3 > A4 > CK. At the same time, the quality index of crude protein, crude fat and crude corn starch grain was obviously improved. The water content of grain decreased, which was beneficial to the harvest period of spring maize in Northeast China.

Key words: biogas fertilizer ; chemical fertilizers ; maize ; photosynthetic physiology ; yield ; quality