

Effects of Integration of Water and Fertilizer Application of Chemical Fertilizer and Biogas Fertilizer Combination on the Yield of Wheat and WUE

Jicheng Wu^{1,2}, Xiaoying Pan^{1,2}, Yonghui Yang^{1,2}, Huiling Zheng³, Cuimin Gao^{1,2}, Lixia Zhang^{1,2}, Pingfang Li⁴, Guangze Xiong⁵

¹Institute of Plant Nutrition & Resource Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Henan

²Yuanyang Experimental Station of Crop Efficient Water Use, Ministry of Agriculture, Xinxiang Henan

³Henan Station of Soil Fertilizer Station, Zhengzhou Henan

⁴Institute of Dancheng Academy of Agricultural Sciences, Zhoukou Henan

⁵Henan Shijixin Energy Technological Co., Ltd., Zhoukou Henan

Email: wujc2065@126.com

Received: Aug. 27th, 2019; accepted: Sep. 12th, 2019; published: Sep. 19th, 2019

Abstract

In order to improve the efficient utilization of agricultural wastes, and reduce environmental pollution, and promote crops saving cost and increasing efficiency and increasing production and quality under the integration of water and fertilizer, which is to realize scientific utilization of biogas slurry and reduce the input of chemical fertilizer. The experiment of the effect of integration of chemical fertilizer and biogas residue & biogas liquid combined application on wheat growth, yield and water use was studied in Dancheng county of Henan province from 2016 to 2018. Three modes were set up in the experiment, which included biogas residue & biogas liquid, chemical fertilizer and biogas residue & biogas liquid, and chemical fertilizer, including: 1) Biogas residue 60 t/ha . 2) Biogas residue 30 t/ha and biogas liquid 7.5 t/ha at the filling stage. 3) Biogas residue 30 t/ha and biogas liquid 22.5 t/ha at the returning green to jointing stage and biogas liquid 12 t/ha at the heading and flowering stage. 4) Biogas residue 30 t/ha and biogas liquid 22.5 t/ha at the returning green to jointing stage and biogas liquid 12 t/ha at the heading and flowering stage and biogas liquid 7.5 t/ha at the filling stage. 5) Biogas residue 30 t/ha and special fertilizer 450 kg/ha and biogas liquid 15 t/ha at the jointing stage. 6) Biogas residue 30 t/ha and special fertilizer 600 kg/ha and biogas liquid 15 t/ha at the jointing stage. 7) Biogas residue 30 t/ha and special fertilizer 750 kg/ha and biogas liquid 15 t/ha at the jointing stage. 8) Biogas residue 30 t/ha and special fertilizer 450 kg/ha and biogas liquid 15 t/ha at the heading stage. 9) Biogas residue 30 t/ha and special fertilizer 450 kg/ha and biogas liquid 12 t/ha at the filling stage. 10) Special fertilizer 750 kg/ha and biogas liquid 22.5 t/ha at the returning green to jointing stage and biogas liquid 12t/ha at the heading and flowering stage. 11) Pure biogas liquid (Bottom 30 t/ha and 15 t/ha at the returning to jointing stage and 12 t/ha at the heading stage and 15 t/ha at the filling stage). 12) Conventional tillage (Special fertilizer 750 kg/ha and topdressing urea 225 kg/ha). The results showed that the application of biogas liquid and biogas residue could improve the growth and development traits of the wheat, such as plant height, ear length, spikelet number, grain

number per spike, and 1000 grain quality, and the sterile ear dropped at the same time. The plant height was increased 1.31 - 15.92 cm compared with the control, among which the highest was treatment 7. The ear length was increased 0.01 - 0.60 cm, among which the longest one was treatment 2. The number of spikelet was increased 0.08 - 2.32, among which the best one was treatment 5. The number of grains per ear was improved 0.87 - 11.32 grains, which the best one was treatment 11. The quality of 1000 seeds was increased 0.12 - 5.50 g, among which the heaviest one was treatment 11. The sterile ears decreased 1.89 - 5.09 ears respectively, among which the best one was treatment 11. Therefore, the yield and quality of winter wheat was improved effectively, compared with the control yield of 6022.5 kg/ha, which increased 0.70% - 57.58% respectively. The water use efficiency had the same trend with the yield. Compared with the control of 15.03 kg mm⁻¹·ha, the water use efficiency increased 0.31 - 8.96 kg/mm⁻¹·ha. All of that, the best one was treatment 11, which was increased 57.58% and 8.96 kg/mm⁻¹·ha respectively. The protein and crude starch content were increased 0.30 g/100g - 1.00 g/100g and 0.57% - 2.22% respectively, and the best one is also treatment 11. Compared with the treatment of biogas residue, the same trend was observed except the treatment 2 and the treatment 6, but the protein was only improved by the treatment 10 and the treatment 11. In a word, the best mode is the application of chemical fertilizer within 450 - 750 kg/ha and 2 times topdressing of biogas liquid at the jointing stage and heading stage or full-scale biogas slurry, which is beneficial to reduce the application of nitrogen fertilizer, and improve the yield and the quality, and reduce the environment pollution of organic waste.

Keywords

Wheat, Biogas Fertilizer, Chemical Fertilizer, Yield, Quality, WUE

化肥与沼肥配施水肥一体化对小麦产量与水分利用的影响

武继承^{1,2}, 潘晓莹^{1,2}, 杨永辉^{1,2}, 郑惠玲³, 高翠民^{1,2}, 张丽霞^{1,2}, 李平芳⁴, 熊光泽⁵

¹河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州

²农业部作物高效用水原阳科学观测实验站, 河南 新乡

³河南省土壤肥料站, 河南 郑州

⁴郸城县农业科学研究所, 河南 周口

⁵河南世技鑫能源科技有限公司, 河南 周口

Email: wujc2065@126.com

收稿日期: 2019年8月27日; 录用日期: 2019年9月12日; 发布日期: 2019年9月19日

摘要

为提高农业废弃物的资源化高效利用, 减少环境污染, 促进农作物水肥一体化的节本增效和增产提质, 实现沼液的科学利用和化肥减投入, 2016~2018年在郸城试验基地开展了化肥与沼渣沼液配施水肥一体化对小麦生长发育、产量和水分利用的影响研究。实验中建立了三种模式, 且设置全程沼渣沼液、化肥与沼渣沼液配施、化肥。即1) 沼渣60 t/hm², 2) 沼渣30 t/hm² + 灌浆期沼液7.5 t/hm², 3) 沼渣30 t/hm² + 返青 - 拔节期沼液22.5 t/hm² + 抽穗 - 扬花期沼液12 t/hm², 4) 沼渣30 t/hm² + 返青 - 拔节期沼液22.5 t/hm² + 抽穗期沼液12 t/hm² + 灌浆期沼液7.5 t/hm², 5) 沼渣30 t/hm² + 450 kg/hm²专用肥 + 拔节期沼液15 t/hm², 6) 沼渣30 t/hm² + 600 kg/hm²专用肥 + 拔节期沼液15 t/hm², 7) 沼

渣30 t/hm² + 750 kg/hm²专用肥 + 拔节期沼液15 t/hm², 8) 沼渣30 t/hm² + 450 kg/hm²专用肥 + 抽穗期沼液15 t/hm², 9) 沼渣30 t/hm² + 450 kg/hm²专用肥 + 灌浆期沼液12 t/hm², 10) 750 kg/hm²专用肥 + 返青 - 拔节期沼液22.5 t/hm² + 抽穗期沼液12 t/hm², 11) 纯沼液处理(底施30 t/hm² + 返青 - 拔节期15 t/hm² + 抽穗期12 t/hm² + 灌浆期15 t/hm²), 12) 常规耕作(专用肥750 kg/hm² + 追肥225 kg/hm²尿素)。结果表明沼渣沼液的应用有利于改善小麦生长发育性状, 对株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒质量都有不同程度的改善, 同时不孕穗下降。与对照相比, 株高提高1.31~15.92 cm, 处理7最高, 穗长增长0.01~0.60 cm, 处理2最长, 小穗数增加0.08~2.32个, 处理5最多, 穗粒数为0.87~11.32粒, 处理11最多, 千粒质量提高0.12~5.50 g, 处理11最重。不孕穗分别减少1.89~5.09穗, 处理11减少最多。从而有效地提高了小麦单位质量和品质, 与对照6022.5 kg/hm²相比, 分别增加0.70%~57.58%, 水分利用效率与产量保持相同的趋势, 分别较对照15.03 kg/mm·hm²相比, 提高0.31~8.96 kg/mm·hm², 均以处理11提高幅度最大, 分别提高57.58%和8.96 kg/mm·hm², 小麦蛋白质和粗淀粉含量分别提高0.30 g/100g~1.00 g/100g和0.57%~2.22%, 也以处理11为最佳。与沼渣处理相比, 除了处理2和处理6, 有着相同的变化趋势, 但对小麦蛋白质的影响只有处理10和处理11有所提高。总之, 底施450~750 kg/hm²化肥配施拔节期和抽穗期2次沼液或全程沼液的模式, 有利于实现氮肥减施、产量和品质的共同提高, 同时减少有机废弃物对环境的污染。

关键词

小麦, 沼肥, 化肥, 产量, 品质, 水分利用效率

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沼渣沼液中含有氮、磷、钾等营养元素以及丰富的氨基酸、B族维生素、蛋白质、霉素、生长素、糖类、核酸、各种水解酶及抗生素等物质[1] [2] [3] [4], 不仅能改良土壤、改善土壤养分状况[5] [6]、减少农业投资, 还可以增产、提高品质[7] [8], 作基肥施用在小麦上, 表现为返青快、分蘖多, 能明显改善小麦生长状况[8] [9], 促使根部生长点迅速发育, 增强根的活力, 改善小麦叶片光合特性, 提高小麦产量[8] [9]。同时影响氮素吸收和耗水量, 提高冬小麦蛋白质含量及干物质积累量[10] [11] [12] [13] [14]。沼液与化肥相结合通过改善小麦根部生长环境, 提高根冠比, 改善叶片光合性能协调营养生长和生殖生长, 延缓了叶片衰老, 进而有效地提高小麦群体指标以及产量三因素[5] [9], 沼液用作叶面施肥能达到防病灭虫的效果[15]; 进行沼液浸种和追肥施用, 经沼液浸种后的小麦种子, 具有抗病、抗旱、壮苗、增产的作用[16]。河南省每年沼液的产出量超过3亿t, 如何科学利用沼液, 促进农作物水肥一体化, 实现节本增效和增产提质的目标, 必须深化沼肥的高效利用及其与节水灌溉设施的有机结合, 一方面促进废物资源化、减少环境污染, 另一方面推进氮肥减施和有机农产品的规模化、规范化和科学化生产。

2. 试验设计

2.1. 研究区概况

试验安排在郸城县砂姜黑土上进行(东经 115°20'23", 北纬 33°49'43"), 研究区多年平均降水量 738.6

mm, 平均气温 14.6℃, 平均日照时数 2258.6 h, 年太阳总辐射 493.24 kJ, 无霜期 223 d。试验土壤质地为黏土, 土壤有机质 20.4 g/kg, 水解氮 93.1 mg/kg, 有效磷 41.6 mg/kg, 速效钾 188 mg/kg。

2.2. 实验材料

试验沼肥为河南世纪鑫能源科技有限公司沼气发电后的沼渣沼液, 用于发酵的有机废弃物为秸秆、畜禽粪便等, 试验沼渣含有有机质 $\geq 45\%$ 、总养分 $\geq 5\%$ 、氨基酸 $\geq 0.2\%$, 腐殖酸 $\geq 1.5\%$; 试验沼液含有有机质 $> 5 \text{ g/L}$ 、腐殖酸 $> 0.8 \text{ g/L}$ 、氨基酸 0.3 g/L 、总养分 5 g/L , 二者重金属符合国家安全标准。试验小麦品种为洛麦 24, 播期为 2017 年 10 月 25 日, 播量 300 kg/hm^2 。

2.3. 试验设置

试验设置全程沼肥、化肥与沼肥配施、化肥三种模式, 共 12 个处理, 分别为: 1) 沼渣 60 t/hm^2 , 2) 沼渣 30 t/hm^2 + 灌浆期沼液 7.5 t/hm^2 , 3) 沼渣 30 t/hm^2 + 返青 - 拔节期沼液 22.5 t/hm^2 + 抽穗 - 扬花期沼液 12 t/hm^2 , 4) 沼渣 30 t/hm^2 + 返青 - 拔节期沼液 22.5 t/hm^2 + 抽穗期沼液 12 t/hm^2 + 灌浆期沼液 7.5 t/hm^2 , 5) 沼渣 30 t/hm^2 + 450 kg/hm^2 专用肥(28-15-5) + 拔节期沼液 15 t/hm^2 , 6) 沼渣 30 t/hm^2 + 600 kg/hm^2 专用肥+拔节期沼液 15 t/hm^2 , 7) 沼渣 30 t/hm^2 + 750 kg/hm^2 专用肥+拔节期沼液 15 t/hm^2 , 8) 沼渣 30 t/hm^2 + 450 kg/hm^2 专用肥 + 抽穗期沼液 15 t/hm^2 , 9) 沼渣 30 t/hm^2 + 450 kg/hm^2 专用肥 + 灌浆期沼液 12 t/hm^2 , 10) 750 kg/hm^2 专用肥 + 返青 - 拔节期沼液 22.5 t/hm^2 + 抽穗期沼液 12 t/hm^2 , 11) 纯沼液处理(底施 30 t/hm^2 + 返青 - 拔节期 15 t/hm^2 + 抽穗期 12 t/hm^2 + 灌浆期 15 t/hm^2), 12) 常规耕作(专用肥 750 kg/hm^2 + 追肥 225 kg/hm^2 尿素)。3 次重复, 小区面积为 $5.6 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 28 \text{ m}^2$ 。基肥使用沼渣、沼液处理的需要整地后 1 周再统一播种, 耕作深度 20 cm , 其他农田管理措施一致, 如中耕、除草和病虫害防治, 灌溉方式为畦灌。根据土壤墒情变化确定灌水时间和灌水量, 本试验拔节和灌浆期分别灌水 $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

2.4. 测定方法与项目

重点观测不同生育期小麦生长发育情况、生物量和土壤水分动态变化情况。土壤水分采用重量烘干法按小麦生育期进行分时段测定, 生物量采用重量测定法分时段定期测定。收获期采集典型样段植株, 进行小麦生长发育指标(株高、穗长、生物量、小穗数、不孕穗)、产量因子(成穗数、千粒质量、穗粒数)的定量化测定, 土壤、植株和籽粒等样品的分析按照相应的国家标准进行。

3. 结果分析

3.1. 不同技术措施对小麦生长发育的影响

从表 1 可以看出, 结果表明沼渣沼液的应用有利于改善小麦生长发育性状, 株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒质量都有不同程度的改善, 同时不孕穗明显下降。与对照相比, 株高提高 $1.31\sim 15.92 \text{ cm}$, 处理 7 最高, 其次为处理 5、处理 2、处理 1、处理 6 和处理 9; 穗长增长 $0.01\sim 0.60 \text{ cm}$, 处理 2 最长, 其次为处理 7、处理 9、处理 5、处理 6 和处理 8; 小穗数增加 $0.08\sim 2.32$ 个, 处理 5 最多, 其次为处理 7、处理 10、处理 2、处理 9 和处理 6; 穗粒数为 $0.87\sim 11.32$ 粒, 处理 11 最多, 其次为处理 2、处理 4、处理 7 和处理 1; 千粒质量提高 $0.12\sim 5.50 \text{ g}$, 处理 11 最重, 其次为处理 10、处理 4、处理 5 和处理 8。不孕穗分别减少 $1.89\sim 5.09$ 穗, 处理 11 减少最多, 其次为处理 2、处理 1、处理 4、处理 3 和处理 9。

与沼渣处理相比, 所有追施沼液的处理对小麦生长发育表现为不同的特征。千粒质量呈现为整体的增加趋势, 分别增加 $0.90\sim 5.38 \text{ g}$, 以处理 11 最重, 其次为处理 10、处理 4、处理 5 和处理 8。小穗数除

了处理 11 外明显提高, 分别提高 0.23~1.51, 并以处理 5 增加最多, 其次为处理 7 和处理 10。不孕穗只有处理 2 和处理 11 明显下降, 分别消减 0.25 和 1.45。穗长除了处理 4 和处理 11 略有下降外, 其他处理分别增长 0.08~0.36 cm, 以处理 2 增长最多, 其次为处理 7 和处理 9。株高和穗粒数没有明显的规律。正是这些不同生育性状的有效改善, 从而影响了小麦单位质量。

Table 1. Effect of combined application of biogas fertilizer and chemical fertilizer on growth and development of wheat
表 1. 沼肥与化肥配施对小麦生长发育的影响

处理	穗粒数	小穗数	不孕穗	株高(cm)	穗长(cm)	千粒质量(g)
1	34.64	20.27	3.45	76.88	8.67	36.94
2	42.20	21.10	3.20	77.50	9.03	38.90
3	37.09	20.73	4.55	73.33	8.76	39.86
4	39.80	20.50	3.70	70.90	8.55	41.12
5	33.56	21.78	4.89	79.18	8.86	40.98
6	34.17	20.97	4.67	76.54	8.80	38.90
7	35.80	21.60	5.20	79.25	9.02	39.83
8	34.12	20.65	4.35	72.30	8.78	40.86
9	32.09	21.09	4.55	75.82	8.93	37.84
10	32.22	21.26	4.70	73.03	8.75	41.68
11	42.54	19.54	2.00	64.64	8.44	42.32
12	31.22	19.46	7.09	63.33	8.43	36.82

3.2. 不同技术措施对小麦单位质量和水分利用的影响

从表 2 可以看出, 沼渣、沼液、肥料及其配施等不同技术措施对小麦单位质量和水分利用效率的提高具有积极效果。与对照相比, 不同处理分别增加 0.70%~57.58%, 以处理 11 增幅最大, 增产 57.58%, 其次为处理 10、4、5, 分别增产 46.65%、41.20%和 41.17%, 处理 3 增幅最小, 仅增产 0.70%。

水分利用效率与产量保持相同的趋势, 单位水分利用效率达到 15.03~23.99 kg/mm·hm²。其中处理 4、处理 5、处理 8、处理 10 和处理 11 分别达到 21.44 kg/mm·hm²、21.32 kg/mm·hm²、20.69 kg/mm·hm²、22.10 kg/mm·hm²和 23.99 kg/mm·hm²。与对照相比, 不同技术措施分别提高 0.31~8.96 kg/mm·hm², 以处理 11 提高幅度最大, 增加 8.96 kg/mm·hm², 其次为处理 10、处理 4、处理 5、处理 8、处理 2, 分别增加 7.07 kg/mm·hm²、6.41 kg/mm·hm²、6.37 kg/mm·hm²、5.66 kg/mm·hm²和 4.57 kg/mm·hm²。

与沼渣处理相比, 除了处理 2 和处理 6 减产 3.97%~12.30%外, 分别增产 8.89%~37.25%, 其中以处理 11 增产幅度最大, 增产 37.25%, 其次分别为处理 10、处理 4 和处理 5, 分别增产 27.72%、22.97%和 22.95%水分利用效率与单位产量有相同的趋势, 除处理 2 和处理 6 减低 0.76~2.10 kg/mm·hm², 其他处理分别提高 1.56~6.56 kg/mm·hm², 并以处理 11 最高, 提高 6.56 kg/mm·hm², 其中次为处理 10、处理 4 和处理 5, 分别提高 4.67 kg/mm·hm²、4.00 kg/mm·hm²和 3.97 kg/mm·hm²。

总上述, 沼肥化肥配施水肥一体化对提高小麦单位质量和水分利用效率最佳处理为处理 11, 其次为处理 10、处理 4 和处理 5。

Table 2. Effect of combined application of biogas fertilizer and chemical fertilizer on unit quality and water use of wheat
表 2. 沼肥与化肥配施对小麦单位质量和水分利用的影响

处理	产量 (kg/m ²)	较 CK (%)	较沼渣 (%)	耗水量 (mm)	水分利用效率 (kg/mm·hm ²)	较 CK (kg/mm·hm ²)	较沼渣 (kg/mm·hm ²)
1	6915.0bc	14.82		5950.5	17.43	2.40	
2	6064.5c	0.70	-12.30	5931.8	15.34	0.31	-2.10
3	7740.0ab	28.52	11.93	5924.7	19.60	4.57	2.16
4	8503.5a	41.20	22.97	5950.4	21.44	6.41	4.00
5	8502.0a	41.17	22.95	5958.0	21.40	6.37	3.97
6	6640.5bc	10.26	-3.97	5973.0	16.68	1.65	-0.76
7	7588.5ab	26.00	9.74	5988.0	19.01	3.98	1.58
8	8169.0a	35.64	18.13	5922.6	20.69	5.66	3.26
9	7530.0ab	25.03	8.89	5946.8	18.99	3.96	1.56
10	8832.0a	46.65	27.72	5995.5	22.10	7.07	4.67
11	9490.5a	57.58	37.25	5934.0	23.99	8.96	6.56
CK	6022.5c			6010.5	15.03		

注：表中不同小写字母表示不同处理之间差异显著(P < 0.05)。

3.3. 不同技术措施对小麦品质的影响

从表 3 分析结果可以看出, 不同处理的小麦蛋白质含量和粗淀粉均有不同程度的提高。与对照相比, 蛋白质含量分别提高 0.30 g/100g~1.00 g/100g, 其中处理 11 和处理 10 提高最大, 提高 1.00 g/100g, 其次为处理 1 和处理 8, 提高 0.9 g/100g, 处理 6 和处理 9 提高幅度最小, 仅提高 0.3 g/100g, 其增减趋势为处理 10、处理 11 > 处理 1、处理 8 > 处理 4 > 处理 2、处理 3、处理 5、产量 7 > 处理 6 和处理 9。粗淀粉含量提高 0.57%~2.22%, 其中处理 11 提高幅度最大, 提高 2.22%, 其次为处理 4、处理 9、处理 3 和处理 2, 分别提高 1.77%、1.67%、1.50 和 1.43%, 处理 1 提高幅度最小, 仅提高 0.46%, 其增减趋势为处理 11 > 处理 4 > 处理 9 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 7 > 处理 6 > 处理 8 > 处理 5 > 处理 10 > 处理 1。

Table 3. The effect of combined application of biogas fertilizer and chemical fertilizer on wheat quality
表 3. 沼肥与化肥配施对小麦品质的影响

处理	水分 g/100g	蛋白质 g/100g	较 CK ±	较沼渣 ±	粗淀粉 %	较 CK ±	较沼渣 ±
1	7.09	16.5	0.90		62.18	0.46	
2	6.92	16.3	0.70	-0.20	63.15	1.43	0.97
3	7.02	16.3	0.70	-0.20	63.22	1.50	1.04
4	7.39	16.4	0.80	-0.10	63.49	1.77	1.31
5	7.02	16.3	0.70	-0.20	62.59	0.87	0.41
6	7.56	15.9	0.30	-0.60	62.92	1.20	0.74
7	7.20	16.3	0.70	-0.20	62.98	1.26	0.80
8	6.96	16.5	0.90	0.00	62.73	1.01	0.55
9	7.18	15.9	0.30	-0.60	63.39	1.67	1.21
10	6.98	16.6	1.00	0.10	62.29	0.57	0.11
11	6.95	16.6	1.00	0.10	63.94	2.22	1.76
12	7.23	15.6			61.72		

注：小麦蛋白质方法含量按 GB5009.5-2016 方法测定, 粗淀粉含量按 NY/T11-1985 测定。

与沼渣处理相比,蛋白质只有处理 11 和处理 10 提高 0.10 g/100g,处理 8 持平,其他处理降低 0.10~0.60 g/100g。但粗淀粉含量则呈现整体的增加的趋势,分别增加 0.11%~1.76%,以处理 11 增幅最高,增加 1.76%,其次为处理 3、处理 4、处理 9,分别增加 1.04%、1.31%和 1.21%,增幅最低的为处理 10,仅增加 0.11%。

从整体上总之,从上述分析情况看,不同处理之间以处理 11、处理 10 和处理 4 对提高品质具有积极效果。

4. 结果与讨论

1) 沼肥及其与化肥配施水肥一体化模式对改善小麦生长发育具有积极效果。与对照相比,株高提高 1.31~15.92 cm,穗长增长 0.01~0.60 cm,小穗数增加 0.08~2.32 个,穗粒数为 0.87~11.32 粒,千粒质量提高 0.12~5.50 g,不孕穗分别减少 1.89~5.09 穗,从而有效地促进了小麦单位质量的提高。这与李清连[4]、陈楠等[5]、Marls 等[10]的研究结果相一致。

2) 沼肥及其与化肥配施水肥一体化模式有效地提高了小麦单位质量和水分利用效率。与对照相比,不同处理小麦单位质量分别增加 0.70%~57.58%,水分利用效率分别提高 0.31~8.96 kg/mm²;与沼渣处理相比,处理 2 和处理 6 减产,其他处理分别增产 8.89%~37.25%,水分利用效率与单位产量有相同的趋势。均以处理 11 最佳,其次为处理 10、处理 4 和处理 5。其中对小麦产量的影响,与刘丰玲等[2]、陈楠等[5]、吕汶霖[6]、孔德杰等[9]、冯伟等[17]、Marls 等[10]、Garg 等[11]、Olesen 等[13]研究的相关沼液、沼渣应用对小麦产量的积极影响趋势相一致,但由于含氮的差异,沼液用量有明显的不同。对小麦水分利用效率的影响与 Garcia 等[14]研究的减少水分消耗、提高水分利用效率的趋势基本一致。

3) 沼肥及其与化肥配施水肥一体化模式对改善小麦品种具有积极影响。与对照相比,其中蛋白质含量分别提高 0.30 g/100g~1.00 g/100g,粗淀粉含量提高 0.57%~2.22%;与沼渣处理相比,蛋白质只有处理 11 和处理 10 提高 0.10 g/100g,粗淀粉含量则分别增加 0.11%~1.76%。以处理 11、处理 10 和处理 4 对提高品质具有积极效果。这与刘丰玲等[2]、吕汶霖[6]、冯伟等[8]相关沼液、沼渣使用提高小麦蛋白质和粗淀粉含量的增加趋势相一致,但本研究结果则在底施 750 kg/hm² 配施拔节期和抽穗期 2 次沼肥和全程沼液的情况下才确定两者的共同提高。

4) 建议采用底施化肥 450~750 kg/hm² + 拔节期和抽穗期 2 次沼液追施或全程沼液的模式,从而实现氮肥减施、产量和品质的共同提高,同时减少有机废弃物对环境的污染。

基金项目

国家重点研发计划项目“小麦-玉米两熟制水肥一体化关键技术”(2017YFD0301102),河南省农业科研专项“沼液农用安全评价及高效利用技术”(2019CY13)资助。

参考文献

- [1] 尚斌,陈永杏,陶秀萍,等. 猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2509-2515.
- [2] 刘丰玲,马东辉,刘天宏. 喷施沼液对小麦产量、品质和病虫害防治的影响[J]. 中国沼气, 2009, 27(6): 39-41.
- [3] 李丙智,王桂芳,秦晓飞,等. 沼液配施钾肥对果园土壤理化特性和微生物及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(22): 4671-4677.
- [4] 李清连. 沼液、沼渣在小麦上的应用[J]. 河南农业, 2011(3): 16-17.
- [5] 陈楠,高同国,姜峰,等. 高效稳定沼液营养液对冬小麦产量及土壤养分的影响[J]. 中国沼气, 2011, 29(4): 47-50.
- [6] 吕汶霖. 沼液农用对小麦产量、品质及土壤质量的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- [7] 艾俊国,孟瑶,于琳,等. 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[J]. 中国土壤肥料, 2015(4): 59-65.

- [8] 冯伟, 邱记东, 管涛, 等. 沼液追施量对小麦蛋白组分、面团流变学和淀粉糊化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(2): 276-280.
- [9] 孔德杰, 杨改河, 任广鑫, 等. 沼肥不同用量对小麦光合特性和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 64-69.
- [10] Marls, T., Lithour Gidis, A.S. and Gagianas, A.A. (2003) Effects of Injected Liquid Cattle Manure on Growth and Yield of Winter Wheat and Soil Characteristics. *Agronomy Journal*, **95**, 592-596.
<https://doi.org/10.2134/agronj2003.0592>
- [11] Garg, R.N., Pathak, H., Das, D.K., Tomar, R.K. (2005) Use of Fly Ash and Biogas Slurry for Improving Wheat Yield and Physical Properties of Soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, **107**, 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s10661-005-2021-x>
- [12] Sarker, M.A., Itohara, Y., Hoque, M. and Sarder, N. (2011) Scope and Challenges of Organic Wheat Cultivation in Bangladesh. *Australian Journal of Crop Science*, **5**, 1114-1119.
- [13] Olesen, J.E., Askegaard, M. and Rasmussen, I.A. (2009) Winter Cereal Yields as Affected by Animal Manure and Green Manure in Organic Arable Farming. *European Journal of Agronomy*, **30**, 119-128.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.08.002>
- [14] Garcia, F., Cruse, R.M. and Blackmer, A.M. (1988) Compaction and Nitrogen Placement Effect on Root Growth, Water Depletion, and Nitrogen Uptake. *Soil Science Society American Journal*, **52**, 792-798.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200030035x>
- [15] 曹云, 常志州, 马艳, 等. 沼液施用对辣椒疫病的防治效果及对土壤生物学特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 507-516.
- [16] 郭月玲, 张磊, 曹金留. 沼液在农业生产中的应用研究现状及前景[J]. 江西农业学报, 2011, 23(5): 154-156.
- [17] 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.