

规模化养猪场处理污水施用对小麦产量和品质的影响*

朱正杰 高 威 庄恒扬**

(扬州大学农学院 扬州 225009)

摘 要 随着我国规模化养猪场迅速发展, 排放的粪尿污水不断增加, 导致严重的环境污染, 成为规模化养猪可持续发展亟待解决的问题。种养结合是污水最佳处理利用途径。规模化养猪场污水在农田特别是在农场经营条件下应用的技术缺少系统研究, 本研究通过田间试验探讨实现小麦高产优质高效的污水利用技术, 为规模化养猪场-农田种植循环农业模式的应用提供技术支持。试验所用污水为养猪场粪尿和冲洗废水经过充分发酵后的污水, 污水含全氮 $1\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、速效氮 $540\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、速效磷 $779\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在常规基施化肥基础上, 设计小麦越冬期施入 $0\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $30\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $120\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 的污水与穗期施氮肥 $0\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $30\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 组合为处理, 研究对小麦产量和品质的影响。结果表明, 越冬期施污水 $30\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 或 $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与穗期施氮 $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 相结合的 3 个处理产量分别为 $8\ 496.27\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $8\ 372.28\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $8\ 419.97\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 与大田常规施肥的产量 $8\ 305.52\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 相当, 穗期不追施或施氮量 $30\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理, 产量都低于常规施肥产量, 说明越冬期污水施用必须与一定量化肥配合才能获得理想的产量。在品质方面, 穗期不施氮肥或施氮 $30\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的籽粒蛋白质含量都低于中筋小麦下限 13% 的要求。从产量与品质两方面考虑, 污水施用量 $60\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与穗期施氮 $90\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 组合、污水施用量 $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与穗期施氮 $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理均为较优的施肥方案。再考虑到农田较大污水承载量和减少化肥施用的目标, 污水施用量为 $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、穗期施氮 $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理为小麦优质高产高效的污水施用方案。

关键词 养猪场 污水 施氮量 农田利用 小麦 产量 品质

中图分类号: S512 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)04-0427-06

Effect of large-scale pig farm waste water on wheat yield and quality

ZHU Zheng-Jie, GAO Wei, ZHUANG Heng-Yang

(College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract With the rapid development of China's large-scale pig farms, increasing manure and sewage discharge is causing severe environmental pollution that in turn threatens the sustainable development of large-scale pig farming. The utilization of sewage, a kind source of nutrient, by combined pig farming with cropping is the best solution to this problem. As sewage utilization in farmlands lacked systematic research, a field experiment was conducted to study sewage effect on yield and quality of wheat. The results of the study could provide the scientific basis for efficient wheat production that supported large-scale pig farming. The sewage used in the experiment contained $1\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of total nitrogen, $540\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of available nitrogen and $779\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of available phosphorus. The experimental treatments consisted of different combinations of sewage ($0\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $30\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $60\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ and $120\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) and nitrogen [$0\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$, $30\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$, $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ and $90\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$] application rates plus conventional base fertilizer at winter wheat booting stage. The results showed that wheat grain yield under $30\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $60\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ and $90\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ sewage treatments with $60\ \text{kg}(\text{N})\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen were $8\ 496.27\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $8\ 372.28\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $8\ 419.97\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. Wheat grain yield under the conventional fertilizer treatment was $8\ 305.52\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Yield under

* 江苏省科技支撑计划项目(BE2010414)资助

** 通讯作者: 庄恒扬(1957—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态学及作物模拟与管理决策研究。E-mail: zhy7979356@sina.com
朱正杰(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事生态农业与农业废弃物资源化利用研究。E-mail: yuanyuan86828@163.com

收稿日期: 2011-06-24 接受日期: 2011-10-21

zero-topdressing or $30 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen treatment was lower than that under conventional fertilizer application. This demonstrated that sewage use must be combined with certain amounts of fertilizer to get desired outputs. Grain protein content under zero-nitrogen or $30 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen application was below 13%, the lower limit of medium-gluten wheat requirement. Taking both yield and quality into account, combination of $60 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ sewage and $90 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen fertilizer or $90 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ sewage and $60 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen fertilizer was a suitable fertilization program. If sewage field carrying capacity and reduction in chemical fertilizer were taken as additional factors, then the combination of $90 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ sewage and $60 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ nitrogen fertilizer application was most suitable for high yield, good quality and efficient wheat production in the study area.

Key words Pig farm, Sewage, Nitrogen application rate, Agricultural utilization, Wheat, Yield, Quality

(Received Jun. 24, 2011; accepted Oct. 21, 2011)

随着我国畜禽养殖业的迅速发展, 畜禽养殖已成为我国农村面源污染的重要来源, 其中规模化养猪场是污染的主要源头^[1]。据调查^[2], 我国 90% 的规模化养殖场没有经过环境影响评价, 80% 的规模化养殖场没有必要的污染处理设备, 畜禽粪尿污水等一般未经任何处理就排放到环境中。养猪场排放的粪尿污水中有机污染物浓度非常高, 氮、磷含量极高, 未经处理就排放, 会造成江河湖泊水质恶化, 水体富营养化, 导致藻类爆发性生长, 水体缺氧, 导致鱼类死亡, 严重威胁水产业的发展。

猪场处理污水虽然是一种污染物, 但其含有丰富的氮、磷、钾等作物所需的养分和有机物质, 而且有毒物质含量在一般情况下不影响在农业上的使用, 因此也是一种有机肥料, 如不加以利用, 将是资源浪费。传统的工业化的污水处理方法投资过大, 养殖业无法承受, 并且不能利用猪场废水中的养分资源。人工湿地处理方法, 虽然投资少, 但是要占用宝贵的土地资源, 也没有充分利用猪场废水的养分资源。以循环农业理论为指导, 将养殖场废水用于农田灌溉, 使养殖场污水资源化、无害化和处理费用低廉化, 实现养殖业与种植业两大产业的耦合发展和生态经济的双赢, 是我国未来规模化养殖的发展方向, 也是未来农业的发展方向^[3-8]。

规模化养殖场污水的施用研究是当前国内外学术界研究的热点之一。目前, 已报道的研究主要有: Castro 等^[9]在巴西东北部的田间试验证明水产养殖废水灌溉西红柿在产量上优于清水灌溉; Rusan 等^[10]施用污水后的长期监测研究证明, 污水灌溉对于土壤和作物无害; 在冲积性水稻土和山原红壤上把化肥和禽畜粪肥配合施用可提高生菜产量, 获得较好经济效益^[11-12]; 利用养猪场废水进行氧化塘厌氧-好氧处理后灌溉果树, 铅、砷等金属元素在再生水中的含量较低, 与清水灌区相比基本不变, 虽然铜等含量显著增加, 但还是没有超过标准值^[13]。关于养猪场处理污水在大田实际施用情况下, 如何实现小麦高产、优质、高效尚鲜见报道。本研究以上海

农场时丰猪场建成的养猪场污水处理工程设施和利用设备为基础, 研究不同污水和氮肥用量的组合处理对小麦产量形成和品质的影响, 并且综合产量和品质两方面目标提出了最佳的施肥方案。探讨实现小麦高产、优质、高效的污水利用技术, 为规模化养猪-农田种植循环农业模式的推广应用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009—2010 年度在上海农场第五生产队条田中进行。试验土壤为轻壤土, 土壤有机质含量 $18.98 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 $1.05 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $75.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $38.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $217 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。所用污水为养猪场粪尿和冲洗废水经过充分发酵后的污水, 污水含全氮 $1\ 000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、速效氮 $540 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、速效磷 $779 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。供试小麦品种为“郑麦 9023”, 于 2009 年 10 月 18 日播种, 行距 23.3 cm 。试验田各处理在统一基施 $300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 磷酸一铵、 $187.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 尿素基础上进行。

1.2 试验方法

试验设两因素, 越冬肥和穗肥分别施用不同量的污水和氮肥。越冬期污水用量分别为 $30 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $120 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 穗期施氮量 $0 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $30 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$, 计 16 个处理, 加上大田对照处理[穗期施氮 $120 \text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$]和前期基础地力评价处理(不施穗肥), 共 18 个处理, 详见表 1。小区长 5.5 m , 宽 3.4 m , 面积 18.7 m^2 。试验 3 次重复, 随机区组设计。处理污水在 2010 年 1 月 12 日人工施入; 穗肥分 2 次施用, 第 1 次为促花肥, 在 2010 年 3 月 20 日施用, 第 2 次为保花肥, 在 4 月 15 日施用。

1.3 测定项目及方法

成熟期间取小区代表性位置小麦 3 行, 每行 3 m , 计 2.25 m^2 测产, 进行穗数调查。每小区取 50 穗左右考种, 测定每穗粒数、千粒重。割方测产籽粒贮藏 3 个月后用 Brabender senior 实验磨粉机制粉。

表 1 各试验处理的污水用量和穗期施氮量

Table 1 Application rates of sewage and nitrogen fertilizer for the experimental treatments

施用期/时间(年-月-日)	肥料	处理 Treatment									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
越冬期 Wintering/2009-01-29	污水 Sewage (m ³ ·hm ⁻²)	0	0	30	30	30	30	60	60	60	
穗期 Booting/2010-03-20,04-15	氮肥 N fertilizer [kg(N)·hm ⁻²]	0	120	0	30	60	90	0	30	60	
		T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
越冬期 Wintering/2009-01-29	污水 Sewage (m ³ ·hm ⁻²)	60	90	90	90	90	120	120	120	120	
穗期 Booting/2010-03-20,04-15	氮肥 N fertilizer [kg(N)·hm ⁻²]	90	0	30	60	90	0	30	60	90	

品质测定的主要项目有淀粉含量、蛋白质含量、容重、硬度、沉降值、面筋含量和淀粉黏滞性。淀粉、蛋白质含量用近红外透射光谱仪(NITS)测定, 容重用 HQT01000 型容重器测定, 沉降值用德国 Brabender 公司的专用仪器, 按 AACCC56-60 沉降值法测定。面筋含量用瑞典 Falling number 公司 1400 洗面筋仪测定。淀粉黏滞性采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司的 Super 3 型 RVA(Rapid Viscosity Analyzer)快速测定, TWC(thermal cycle for windows)配套软件进行分析。有关数据分析和图表绘制运用 SPSS 数据分析软件和 Excel 进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦产量与产量结构的影响

由表 2 可知, 不同处理间的小麦产量有明显差异。不同处理的产量介于 5 444.29~8 496.27 kg·hm⁻² 之间。不追肥的产量显著低于其余各处理。T5 处理的产量最高, T17 处理的产量次之, T13 处理的产量

再次之, 与大田对照处理(T2)之间差异不显著。说明这 3 种施肥处理在产量上可达到普通大田水平。

不同处理的穗数介于 441.74~635.35 万·hm⁻² 之间。不施肥的穗数最低, 且显著低于其余各处理。T18 处理的穗数最高, 且显著高于其余各处理。其余各处理之间无显著差异。说明施肥显著提高穗数, 低量肥料施用即可使穗数达到普通大田水平。

不同处理的穗粒数介于 26.61~35.43 粒·穗⁻¹ 之间。T3 处理的穗粒数最低, T6 处理的穗粒数最高, 污水施用量为 30 m³·hm⁻² 时, 穗粒数随穗期施氮增加而上升。污水施用量为 60 m³·hm⁻² 及以上时, 穗粒数随穗期施氮增加而先上升后下降。

不同处理的千粒重介于 42.52~49.17 g 之间。T10 处理的千粒重最低, T7 处理的千粒重最高。大田对照处理显著低于不施肥处理(T1), 污水施用量为 30 m³·hm⁻² 和 60 m³·hm⁻² 时, 千粒重随穗期施氮增加而下降。

表 2 不同量的污水和氮肥配合施用对小麦产量与产量构成要素的影响

Table 2 Effect of different application rates of sewage and nitrogen fertilizer on wheat yield and its components

处理 Treatment	穗数 Spike (×10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretical yield (kg·hm ⁻²)	实际测产 Actual yield (kg·hm ⁻²)
T1	441.74b	27.18cd	48.56ab	5 830.35	5 444.29d
T2	564.93ab	32.32abc	46.15abc	8 426.32	8 305.52a
T3	481.04ab	26.61d	49.11a	6 286.31	5 890.96cd
T4	505.80ab	31.96abcd	47.66ab	7 704.41	7 017.96abc
T5	621.52ab	34.27ab	47.54ab	10 125.78	8 496.27a
T6	514.86ab	35.43a	45.9abc	8 372.84	7 844.54ab
T7	468.86ab	29.57bcd	49.17a	6 817.02	6 337.63bcd
T8	528.37ab	29.91abcd	47.33ab	7 479.82	7 304.09abc
T9	553.36ab	30.61abcd	44.93bc	7 610.40	7 701.48ab
T10	601.97ab	29.09bcd	42.52c	7 445.81	8 019.39ab
T11	566.59ab	30.97abcd	47.07ab	8 259.51	7 332.7abc
T12	583.53ab	32.85ab	48.15ab	9 229.85	8 122.72ab
T13	591.93ab	33.86ab	46.85ab	9 390.03	8 372.28a
T14	601.02ab	30.51abcd	44.81bc	8 216.86	8 098.87ab
T15	565.47ab	29.16bcd	48.36ab	7 974.13	7 604.52abc
T16	589.57ab	33.46ab	47.05ab	9 281.56	8 082.98ab
T17	605.98ab	30.71abcd	42.66c	7 938.88	8 419.97a
T18	635.35a	30.91abcd	44.5bc	8 739.21	8 122.72ab

表内不同小写字母表示在 5%水平差异显著, 下同。Different small letters mean significant difference at 5% level, the same below.

2.2 不同处理对小麦籽粒品质的影响

2.2.1 淀粉含量

由表 3 可知,不同处理的淀粉含量介于 67.17%~69.57%之间。T17 处理的淀粉含量最低,与不施肥处理(T1)之间无显著差异,但显著低于其余处理。T6 处理的淀粉含量最高,与 T8 和 T16 处理之间无显著差异,显著高于其余处理。其余处理与大田对照处理(T2)之间无显著差异。

2.2.2 蛋白质含量

由表 3 可知,不同处理的蛋白质含量介于 11.33%~15.13%之间。T3 处理的蛋白质含量最低,显著低于其余处理;T18 处理的蛋白质含量最高,显著高于其余处理;高于大田对照处理(T2)的有 T10 和 T14 处理,且差异显著;T17 处理与大田对照(T2)之间无显著差异。

2.2.3 容重

由表 3 可知,不同处理的容重介于 723.63~751.62 g·L⁻¹之间。T15 处理的容重最低,显著低于其余处理;T8 处理的容重最高,显著高于其余处理;T5 处理与大田对照处理(T2)无显著差异。

2.2.4 硬度

由表 3 可知,不同处理的硬度介于 60.12%~65.82%之间。T18 处理的硬度最低,显著低于其余处理;T3 处理的硬度最高,显著高于其余处理;除 T17 和 T18 处理,其余处理均高于大田对照处理(T2),且

差异显著。

2.2.5 沉降值

由表 3 可知,不同处理的沉降值介于 27.00~40.80 mL 之间。T3 处理最低,显著低于其余处理;T18 处理最高,与 T14、T10 和 T17 处理之间无显著差异,显著高于其余处理;此外,高于大田对照处理(T2)的还有 T13 和 T16 处理,但无显著差异。

2.2.6 面筋含量

由表 3 可知,不同处理的干面筋含量介于 9.04%~12.01%之间。T11 处理最低,显著低于其余处理;T18 处理最高,显著高于其余处理;T5、T9、T13 和 T14 处理与大田对照处理(T2)之间无显著差异。

不同处理的湿面筋含量介于 26.45%~35.67%之间。T8 处理最低,显著低于其余处理;T18 处理最高,显著高于其余处理;高于大田对照处理(T2)的有 T10、T13、T14、T17 和 T18。

2.2.7 淀粉 RVA 谱特征值

淀粉黏滞性谱是指淀粉匀浆在加热、持续高温和冷却过程中黏度随之变化而形成的曲线。由于在黏度速测仪 Rapid Visco-Analyser 上测定,故又称为 RVA 谱。面粉糊化特性主要是通过黏度参数来反映,其中峰值黏度对面条品质有重要影响,是反映淀粉品质的重要标准。淀粉 RVA 特征值主要有峰值黏度、低谷黏度、稀解值、最终黏度、反弹值、峰值时间和糊化温度等,测定结果如表 4。

表 3 不同量的污水和氮肥配合施用对小麦籽粒品质的影响
Table 3 Effect of different application rates of sewage and nitrogen fertilizer on wheat grain quality

处理 Treatment	淀粉含量 Starch content (%)	蛋白质含量 Protein content (%)	容重 Bulk density (g·L ⁻¹)	硬度 Hardness (%)	沉降值 Sedimentation value (mL)	干面筋 Dry gluten (%)	湿面筋 Wet gluten (%)
T1	67.23b	12.03cde	731.95bcde	65.18ab	32.47abc	9.38cde	27.82cde
T2	68.37ab	13.60abc	746.92ab	60.68gh	37.33ab	10.61abcde	32.01abcd
T3	68.47ab	11.33e	727.12cde	65.82a	27.00c	9.14de	27.19cde
T4	68.47ab	11.67de	738.43abcde	64.63ab	29.80bc	10.06bcde	28.44cde
T5	69.20ab	13.33bcd	745.67ab	61.47efgh	34.37abc	10.23abcde	29.81bcde
T6	69.57a	12.50bcde	742.98abc	61.57defgh	33.37abc	10.11bcde	29.67bcde
T7	68.30ab	11.90cde	731.70bcde	64.50ab	30.63bc	9.32cde	28.06cde
T8	69.53a	12.60bcde	751.62a	64.70ab	32.97abc	9.21de	26.45e
T9	67.63ab	13.00bcde	738.77abcde	63.320bcde	34.47abc	10.87abcde	30.52bcde
T10	68.83ab	14.23ab	740.07abcd	63.10bcdef	40.67a	11.20abc	33.98ab
T11	68.97ab	12.43bcde	723.90de	63.50bcd	33.93abc	9.04e	26.98de
T12	68.53ab	12.47bcde	737.35abcde	62.30cdefg	32.83abc	10.17abcde	30.16bcde
T13	68.43ab	13.07bcde	736.07abcde	63.62bc	36.67ab	10.84abcde	32.11abcd
T14	68.17ab	13.93ab	734.53bcde	61.18fgh	40.00a	11.70ab	34.55ab
T15	68.33ab	12.63bcde	723.63e	64.13abc	33.13abc	9.48cde	27.63cde
T16	69.50a	12.93bcde	737.28abcde	63.42bcde	36.67ab	10.01bcde	29.67bcde
T17	67.17b	13.67abc	735.48abcde	60.62gh	39.73a	10.99abcd	32.34abc
T18	68.43ab	15.13a	738.77abcde	60.12h	40.80a	12.01a	35.67a

表 4 不同量的污水和氮肥配合施用对小麦淀粉 RVA 特征影响
Table 4 Effect of different application rates of sewage and nitrogen fertilizer on wheat grain starch RVA profiles

处理 Treatment	峰值黏度 Peak viscosity (cP)	低谷黏度 Trough viscosity (cP)	崩解值 Break down (cP)	最终黏度 Final viscosity (cP)	回复值 Consistence viscosity (cP)	峰值时间 Peak value time (min)	糊化温度 Gelatinization temperature ()
T1	1 272.67c	438.00c	834.67c	902.33c	464.33c	5.31d	81.32d
T2	1 919.00ab	850.00abc	1 069.00ab	1 762.33a	912.33a	5.71ab	84.23a
T3	1 349.33bc	499.33bc	850.00c	976.33bc	477.00bc	5.38cd	81.73bcd
T4	1 598.00abc	653.67abc	944.33bc	1 365.67abc	712.00abc	5.53abcd	82.07abcd
T5	1 794.00abc	833.00abc	961.00abc	1 682.00ab	849.00a	5.67abc	83.38abcd
T6	1 649.00abc	723.33abc	925.67bc	1 469.67abc	746.33abc	5.60abcd	83.02abcd
T7	1 543.33abc	614.67abc	928.67bc	1 290.33abc	675.67abc	5.51abcd	82.27abcd
T8	1 687.67abc	758.00abc	929.67bc	1 503.00abc	745.00abc	5.60abcd	82.90abcd
T9	1 798.33abc	864.00ab	934.33bc	1 692.67ab	828.67a	5.67abc	83.67abc
T10	2 026.00a	1 013.33a	1 012.67abc	1 987.67a	974.33a	5.78a	83.95ab
T11	1 610.00abc	606.67abc	1 003.33abc	1 250.67abc	644.00abc	5.40bcd	81.53cd
T12	1 836.00abc	848.33abc	987.67abc	1 690.33ab	842.00a	5.66abc	83.12abcd
T13	1 810.67abc	872.67ab	938.00bc	1 711.33ab	838.67a	5.64abc	82.80abcd
T14	1 850.33abc	838.00abc	1 012.33abc	1 713.67ab	875.67a	5.69abc	83.65abc
T15	1 835.67abc	883.33ab	952.33abc	1 661.33ab	778.00abc	5.67abc	83.68abc
T16	1 626.67abc	700.00abc	926.67bc	1 414.00abc	714.00abc	5.51abcd	82.07abcd
T17	1 829.00abc	796.33abc	1 032.67abc	1 611.00abc	814.67ab	5.62abcd	82.50abcd
T18	2 002.33a	849.33abc	1 153.00a	1 820.33a	971.00a	5.71ab	83.08abcd

由表 4 可知, 各项淀粉 RVA 谱特征值均为不施肥处理(T1)最低。峰值黏度值、低谷黏度值、最终黏度值、回复值和峰值时间是 T10 处理最高。崩解值 T18 处理最高, 显著高于其余处理。糊化温度大田对照处理(T2)最高, 显著高于其余处理。

3 讨论

就产量及其构成因素而言, 试验以污水施用量为 30 m³·hm⁻²、穗期施氮 60 kg·hm⁻² 处理的产量最高, 说明并非处理污水施用量越大, 穗期施氮越大, 产量就越高。在本试验条件下, 综合各方因素考虑, 污水施用量为 30 m³·hm⁻²、穗期施氮 60 kg·hm⁻² 的处理是较优处理污水利用模式, 但还有待于进一步深入研究。在小麦生产上氮肥后移技术是提高产量和改善品质的重要措施^[14-16]。由于农场在小麦上用大型粪罐车施用处理污水, 施用的适合时间只有小麦越冬期。本试验中, 小麦成熟期污水用量较大的处理倒伏比较普遍, 可能是由于越冬期施用污水导致无效分蘖增加, 拔节期节间拉长, 对产量产生影响, 因此有必要进一步探讨在其他时间施用污水。

就小麦品质而言, 淀粉糊化特性是反映淀粉品质的重要指标, 对面条等食品品质有重要影响, 较高的峰值黏度和稀懈值对面条的食用品质有利^[17-18], 与面条的弹性、韧性和食用品质呈显著正相关关系^[19-20]。总的来说, 峰值黏度和崩解值随着污水施用量的增加有升高趋势, 说明施用污水可提高小麦的面条品质。营养品质中蛋白质含量是重要指标。污水施用

量越大, 施氮量越大, 越有利于籽粒中蛋白质含量的提高。加工品质主要指标有容重、硬度、沉降值和面筋含量等。容重、硬度随污水施用量增加有下降趋势, 说明污水施用降低一次加工品质。而沉降值和面筋含量随污水施用量增加有升高趋势, 可能是由籽粒蛋白质含量增高所致。因此, 污水施用量为 60 m³·hm⁻²、穗期施氮 90 kg·hm⁻² 处理与污水施用量为 90 m³·hm⁻²、穗期施氮 60 kg·hm⁻² 处理是小麦优质的施肥方案。

从以往已报道的文献来看, 研究大多着重于对工业废水灌溉的研究, 而对养殖业特别是规模化畜禽养殖污水研究不足。并且已有研究着重从环境科学角度处理废水、去除污染物质, 利用植物吸收去除水体营养物质而不致破坏环境或达到降低处理成本的目的, 缺少从循环农业角度, 构建实现作物高产优质的污水农田利用方案。本研究明确了规模化养猪场污水对小麦产量及其构成因素及品质的影响, 综合小麦产量、品质和农田污水承载量 3 个主要目标, 提出了较优的处理污水农田利用模式, 该模式具有较强的可用性, 在大田示范推广该技术, 可以获得显著的经济、社会和生态效益。

4 结论

通过田间试验研究猪场越冬期污水施用和穗肥对小麦产量和品质的影响。结果表明, 越冬期施污水 30 m³·hm⁻²、60 m³·hm⁻² 或 90 m³·hm⁻² 与穗期施氮 60 kg·hm⁻² 相结合的 3 个处理产量分别为 8 496.27

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $8\,372.28\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $8\,419.97\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，与大田常规施肥的产量 $8\,305.52\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 相当，穗期不追施或追施 $30\text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理，产量都低于常规施肥产量，说明越冬期污水施用必须与一定量化肥配合才能获得理想的产量。穗期不施氮肥或施氮 $30\text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的处理，籽粒蛋白质含量都低于中筋小麦下限 13% 的要求。从产量与品质两方面考虑，污水施用量 $60\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与穗期施氮 $90\text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 组合、污水施用量 $90\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与穗期施氮 $60\text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理均为较优的施肥方案。再考虑到农田较大污水承载量和减少化肥施用的目标，污水施用量为 $90\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、穗期施氮 $60\text{ kg(N)}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理为优质高产高效栽培的污水施用方案。

参考文献

- [1] 刘方, 付永胜. 规模化养猪场废水处理与污染防治的对策[J]. 广东农业科学, 2008(4): 74–76
- [2] 王凯军. 畜禽养殖污染防治技术与对策[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 21
- [3] 黄军, 何健, 周青. 循环农业模式下的农业废弃物资源化利用[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(6): 76–79
- [4] 陈德敏, 王文献. 循环农业——中国未来农业的发展模式[J]. 经济师, 2002(11): 8–9
- [5] 吉进卿. 循环经济是实现畜牧业可持续发展的必由之路[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2006(2): 9–10
- [6] 李浩, 龚海涛. 规模化养殖场发展循环经济的实践和探索[J]. 污染防治技术, 2003(412): 64–65
- [7] 李健生. 循环经济在养猪业污染及生态修复中的应用[J]. 环境科学研究, 2005, 18(6): 133–136
- [8] 曾向辉, 刘世荣, 李云开, 等. 集约化畜禽养殖再生水灌溉的研究现状与趋势分析[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(6): 1–5
- [9] Castro R S, Borges Azevedo C M S, Bezerra-Neto F. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 110(1): 44–50
- [10] Rusan M J M, Hinnawi S, Rousan L. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters[J]. Desalination, 2007, 215(1/3): 143–152
- [11] 苏帆, 尹梅, 付利波, 等. 禽畜粪肥和化肥对结球西生菜生产的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 630–636
- [12] 蒋卫杰, 余宏军, 李红. 不同有机肥种类对生菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(8): 10–12
- [13] 王韶华, 张树军, 刘昆鹏. 畜禽养殖再生水灌溉试验研究初步分析[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(3): 38–42
- [14] 王晨阳, 朱云集, 夏国军, 等. 氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 978–983
- [15] 盛婧, 胡宏, 郭文善, 等. 施氮模式对皖麦 38 淀粉形成与产量的效应[J]. 作物学报, 2004, 30(5): 507–511
- [16] 武际, 郭熙盛, 杨晓虎, 等. 氮肥施用时期及基追比例对土壤矿质氮含量时空变化及小麦产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2382–2387
- [17] 阎俊, 张勇, 何中虎. 小麦品种糊化特性研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(1): 9–13
- [18] 徐兆华, 张艳, 夏兰芹, 等. 中国冬播小麦品种淀粉特性的遗传变异分析[J]. 作物学报, 2005, 31(5): 587–591
- [19] Crosbie G B, Ross A S, Moro T, et al. Starch and protein quality requirements of Japanese alkaline noodles (Ramen)[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(3): 328–334
- [20] Ross A S, Quail K J, Crosbie G B. Physical chemical properties of Australian flours influencing the texture of yellow alkaline noodles[J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(6): 814–820