

节水灌溉下不同氮肥施加对稻米品质变异性的影响

郑恩楠^{1,2} 张忠学^{1,2} 杨桦^{1,2} 陈鹏^{1,2}

(1. 东北农业大学水利与土木工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 农业部农业水资源高效利用重点实验室, 哈尔滨 150030)

摘要: 为探讨黑土区不同氮肥施加对稻米品质及变异性影响,在节水灌溉条件下以 0、60、85、110、135、160 kg/hm² 氮肥处理的典型黑土区水稻生长基质为例,采用水稻成熟期蛋白质含量、直链淀粉含量、垩白度 3 个主要品质指标田间系统采样数据为研究对象,运用地统计学原理探讨了水稻 3 个品质指标的变异性,并建立了半变异函数模型。结果表明:不同施氮量不仅能够促进稻米品质的改善,而且可以改变田间区域内稻米品质的变异性,除垩白度和不施氮肥处理的蛋白质含量属中等变异外,其他处理下的水稻 3 个品质指标均属于弱变异。3 个指标中直链淀粉含量正相关范围最大,大于蛋白质含量和垩白度正相关范围,表明黑土区不同氮肥管理对直链淀粉含量变异结构影响最大。同时随着施氮量的增加,土壤中硝态氮和铵态氮呈先增加后减小的变化趋势,不同施氮量土壤硝态氮和铵态氮含量的变化与稻米品质变异强度的顺序恰好相反,由大到小为 WS0、WS60、WS85、WS160、WS135、WS110,通过相关性分析得出硝态氮对稻米品质变异性起主导作用,表明不同氮肥的施加可以通过改变土壤中硝态氮和铵态氮的含量进而对稻米品质变异性有一定的影响。综合来看最佳氮肥施用量为 110 kg/hm²,水稻 3 个品质指标及其生长基质均具有较好的区域化特征和空间结构。同时引入地统计学理论不仅弥补了经典统计分析的不足,而且可为水肥—土壤—作物系统信息进行空间结构和定量化研究提供理论依据。

关键词: 水稻品质; 氮肥配施; 变异性; 半变异函数; 黑土

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)03-0271-08

Effect of Nitrogen Fertilizers Application on Variability of Quality of Paddy with Water-saving Irrigation

ZHENG Ennan^{1,2} ZHANG Zhongxue^{1,2} YANG Hua^{1,2} CHEN Peng^{1,2}

(1. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China
2. Key Laboratory of Effective Utilization of Agricultural Water Resources, Ministry of Agriculture, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to discuss the effects of nitrogen fertilizers application on the variability of paddy quality in black soil region, the example of black soil of typical cold area was taken and treated with 0, 60 kg/hm², 85 kg/hm², 110 kg/hm², 135 kg/hm² and 160 kg/hm² of nitrogen fertilizer under water saving irrigation condition. The field system sampling data for three main paddy quality indicators of protein, amylose and chalkiness in mature paddy were studied, the variability of three paddy quality indicators was investigated by using geostatistics theory, and a semi-variogram model was established. The results showed that the different nitrogen applications can not only promote paddy quality improvement, but also reduce paddy quality difference in the field area. Except that chalkiness and protein treated with no nitrogen fertilizer was the medium variation, all the other treatments were weak variation. In these three indicators, amylose was the most largest positive space correlation range, which was greater than the positive correlation of protein and chalkiness space. It was showed that the water and nitrogen management had the greatest influence on the variability of amylose in cold region. With the increase of nitrogen application rate, the nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in soil were increased first and then decreased. The changes of nitrate and ammonium nitrogen contents in soils with different nitrogen application rates were in the opposite order to the spatial variation of paddy, which were in a

收稿日期: 2017-08-16 修回日期: 2017-10-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400108)和国家自然科学基金面上项目(51779046)

作者简介: 郑恩楠(1993—),男,博士生,主要从事节水灌溉理论与新技术研究,E-mail: 1044459115@qq.com

通信作者: 张忠学(1967—),男,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究,E-mail: zhangzhongxue@163.com

descending trend as WS0, WS60, WS85, WS160, WS135 and WS110, it was showed that the different nitrogen contents had some influence on the variability of paddy quality, the results showed that the application of different nitrogen fertilizers could change the contents of nitrate and ammonium nitrogen in soil and then had a certain impact on the rice quality variability. The optimum nitrogen fertilizer application was 110 kg/hm², and the three paddy quality indexes and its growth matrix had good regional characteristics and spatial structure. The introduction of geostatistics not only compensated the deficiency of classical statistical analysis, but also provided theoretical basis for spatial structure and quantitative research of water-fertilizer-soil-crop system information.

Key words: paddy quality; nitrogen fertilizer application; variability; semi-variable function; black soil

0 引言

水肥是影响作物生长发育的主要因子^[1-2],近年来国内外对水肥调控下作物产量^[3-4]、温室气体排放^[5-6]和农业面源污染^[7-8]等均有大量报道,但水肥调控下对作物品质指标变异性的影响却鲜有报道。然而,应用地统计学对水肥调控作用下的作物品质指标变异性进行分析更是尚未涉足。地统计学自被引入到变异性分析中以来,已广泛应用于土壤、生态环境、农业气象、遥感等领域^[9]。作物品质指标与气候条件、土壤特性及农业耕作水平密切相关,而水肥调控能够影响土壤中养分含量的变化和积累,改变了土壤养分基础理化性质,土壤养分是影响作物品质指标的主要因素,而作物品质指标是水肥调控作用的间接体现^[10]。本文在水稻成熟期测定其品质指标,并运用地统计学原理对节水灌溉氮肥调控作用下水稻成熟期蛋白质、直链淀粉、垩白度3个主要品质指标进行变异性分析,以获得节水灌溉氮肥调控作用下田间水稻品质变异的规律,为有针对性地研究田间作物生理品质性状提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年5—10月在黑龙江省绥化市庆安县和平镇水稻灌溉试验中心站(125°44'E,45°63'N)进行,是典型寒地黑土区。多年平均气温2.5℃,多年平均降水量550 mm,多年平均水面蒸发量750 mm。作物水热生长期156~171 d,全年无霜期128 d。气候特征属寒温带大陆性季风气候。土壤类型为白浆土型水稻土,容重1.01 g/cm³,孔隙度61.8%。土壤基本理化性质:有机质质量比41.4 g/kg、pH值6.40、全氮质量比15.06 g/kg、全磷质量比15.23 g/kg、全钾质量比20.11 g/kg、碱解氮质量比154.36 mg/kg、有效磷质量比25.33 mg/kg和速效钾质量比157.25 mg/kg。

1.2 试验设计

试验在节水灌溉(Water-saving, WS)即在返青

期田面保持0~30 mm薄水层和黄熟期自然落干以外,其他各生育阶段灌水后均不建立水层,以根层土壤水分作为控制指标,灌水上限为饱和含水率。用TPIME-PICO64/32型土壤水分测定仪每天(07:00和18:00各测1次)测取土壤含水率,当土壤含水率低于或接近于灌水下限时,人工灌水至灌水上限,维持土壤含水率处于相应生育阶段的灌水上限和灌水下限之间。在分蘖末期进行晒田不进行灌水,分蘖前期、中期、拔节孕穗期、抽穗开花期以及乳熟期土壤含水率下限分别取饱和含水率的85%、85%、85%、85%和85%的条件下,设置6个施氮水平(0、60、85、110、135、160 kg/hm²),6个施氮水平处理的水分管理一致。其中氮肥是折纯后的量,氮肥按照基肥:蘖肥:穗肥比例为5:3:2分施,各处理均施P₂O₅ 45 kg/hm²,K₂O 80 kg/hm²,磷肥作为基肥一次施用,钾肥分基肥和8.5叶龄(幼穗分化期)2次施用,前后比例为1:1。试验共设6个处理(WS0、WS60、WS85、WS110、WS135、WS160),3次重复,随机区组排列,每个小区面积为10 m×10 m=100 m²,小区四周同样种植水稻以加设保护行。水稻品种、育秧、移栽、植保及用药等技术措施以及田间管理条件相同。为减少侧向渗透对试验的影响,小区与小区之间采用隔渗处理,即小区四周用塑料板和水泥埂作为隔渗材料,埋入田间地表以下40 cm深。供试水稻品种为龙庆稻3号。5月6日施基肥,5月17日移栽,5月31日施分蘖肥,7月19日施穗肥,9月20日收获。水稻生育期为127 d,分为返青期(5月17日—5月30日)、分蘖期(5月31日—7月7日)、拔节孕穗期(7月7日—7月25日)、抽穗开花期(7月26日—8月4日)、乳熟期(8月5日—8月24日)、黄熟期(8月25日—9月20日)。

1.3 观测指标

在测产3个月对水稻米质进行测量,垩白指标采用农业部稻米及制品质检中心生产的SDE-A型稻米垩白观测仪进行测定;稻米直链淀粉和蛋白质含量采用Infratec1241 grain analyzer(FOSS-TECATOR)测定。水稻小区采样点如图1所示,行、

列间距都是 2 m。

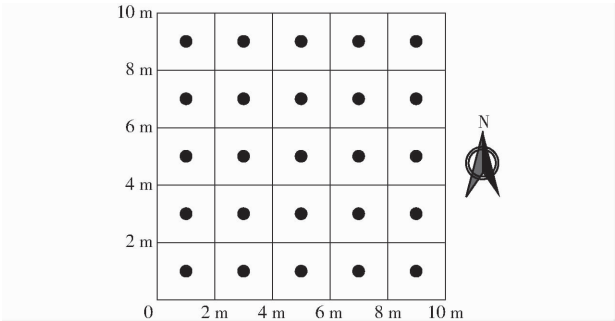


图 1 取样点分布图
Fig. 1 Distribution map of sampling site

1.4 土壤样品

水稻籽粒成熟期用土钻在田间采样点(图 1)根层 0 ~ 20 cm 内取新鲜土样,每个小区取样 25 个,装入泡沫保温箱内,放置冰袋保鲜,带回实验室冷冻贮存,测定方法:称取 5 g 待测土样加 2 mol/L KCl 溶液 50 mL,25℃ 恒温震荡 1 h 后,过滤,滤液采用德国生产的 AA3 型(Auto analyzer3)流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮含量。取每个小区 25 个样点的平均数作为该小区的实际值,不同处理取重复小区的平均值作为该处理的实际值进行数据分析。

1.5 数据处理

采用 Origin 9.0 软件和 GS + 软件进行变异性分析以及相关图形输出。

2 地统计学方法

2.1 数学模型的建立

地统计学(Geo - Statistics)是以区域化变量为基础,以变异函数为主要工具,研究在既有随机性又有结构性或空间相关和依赖性的自然现象的科学。它为研究变异性提供了定量工具。半变异函数是地统计学所特有的基本工具,它既能描述区域化变量的结构性变化,又能描述其随机性变化。通常区域化变量 $Z(x)$ 所描述的现象是二维和三维的。在满足平稳条件或内蕴假设下,其半变异函数为

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (1)$$

式中 $\bar{\gamma}(h)$ ——半变异函数

h ——分隔两点的滞后距

$N(h)$ ——轴上相隔 h 的点对数

$Z(x_i)$ 、 $Z(x_i + h)$ ——采样值 $Z(x)$ 和 $Z(x + h)$ 的 $N(h)$ 对实现

自相关分析是地统计学中的基本方法之一,它反映了属性值与相邻空间的相关性,是一种检测与量化取样值空间依赖性的统计方法,也是进行空间

分析的前提与基础。莫兰指数(Moran's I)为自相关最常用的表征指标,公式为

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

式中 I ——莫兰指数(Moran's I)

n ——样点总数

x_i 、 x_j ——样点的属性值

W_{ij} ——权重矩阵元素

$\bar{x}$ ——属性值 x_i 的平均值

莫兰指数(Moran's I)值一般介于 $-1 \sim 1$ 之间。当 I 值大于 0 时,表明存在正相关,反之小于 0 表示存在负相关, I 值为 0 时,表明不存在自相关,分布呈现随机分布的情形。根据克里金(Kriging)方法对半变异函数自相关程度的信息进行插值,有关公式参照文献[11 - 14]。

2.2 半变异函数理论模型

实际工作中区域化变量的变异性往往很复杂,它可能在不同方向上有不同的变异性,或在同一个方向上包含不同层次的变异性,因此必须给变异函数配以相应的理论模型。目前最常见的为球形模型^[9],其形式为

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & (h = 0) \\ C_0 + C \left(1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \frac{h^3}{a^3} \right) & (0 < h \leq a) \\ C_0 + C & (h > a) \end{cases} \quad (3)$$

式中 C_0 ——块金常数 C ——拱高

a ——变程,表示两点间存在相关关系的最大距离

$C_0/(C_0 + C)$ 为块金常数/基台值,若 $C_0/(C_0 + C) < 0.25$,变量具有强烈的相关性;若 $C_0/(C_0 + C)$ 在 $0.25 \sim 0.5$,变量有明显的相关性;若 $C_0/(C_0 + C)$ 在 $0.5 \sim 0.75$,变量具有中等自相关性;若 $C_0/(C_0 + C) > 0.75$,变量自相关性弱。

3 结果与分析

3.1 稻米品质指标统计特征值分析

在稻米采样容量为 25 个情况下的经典统计特征值见表 1。对黑土区节水灌溉氮肥处理稻米品质指标数据检验与修正后,采用 SPSS19.0 软件中 K - S 检验,不同氮肥处理稻米品质指标均服从正态分布。与 WS0 相比,均值项在 WS60、WS85、WS110、WS135、WS160 处理下直链淀粉含量分别增加了 4.8%、8.2%、15.9%、15.7% 和 15.1%;蛋白质含

量分别增加了 8.1%、9.8%、42.1%、41.03%、28.1%；垩白度分别增加了 3.7%、14.2%、30.18%、33.9%、29.2%。较大施氮量 110、135、160 kg/hm²增幅效果明显。其中 WS110 处理的 3 个品质指标除垩白度外均大于其他处理,其次是 WS135、WS160、WS85、WS60 和 WS0。而垩白度在 WS135 处理的均值最大。由方差和标准差项可知,WS110 处理的 3 个品质指标均小于其他处理,表明该处理的试验田间数据采样值较其他处理均匀,分布离散程度较小,能够反映水稻 3 个品质指标较其

他处理匀称。变异系数表征了指标的变异性,从表 1 可以看出,3 个品质指标均存在着一定的变异情况。通过变异系数可将 3 个品质指标进行变异性分级: $C_v < 10\%$ 为弱变异性; $10\% \leq C_v < 100\%$ 为中等变异性; $C_v \geq 100\%$ 为强变异性。除垩白度和 WS0 处理的蛋白质含量为中等变异外,其他不同氮肥处理均属于弱变异。变异强度由大到小直链淀粉含量和垩白度为 WS0、WS60、WS160、WS85、WS135、WS110,而蛋白质含量则为 WS0、WS60、WS85、WS160、WS135、WS110。

表 1 水稻品质指标统计特征值
Tab.1 Statistical eigenvalues of rice quality indicators

品质指标	参数	WS0	WS60	WS85	WS110	WS135	WS160
直链淀粉含量	均值	15.98	16.75	17.82	18.52	18.50	18.04
	方差	1.23	0.92	0.91	0.72	0.84	0.95
	标准差	1.11	0.96	0.95	0.85	0.97	0.98
	峰度	-0.90	-0.82	-0.34	1.73	3.06	0.03
	偏度	-0.69	0.51	-0.05	-0.13	0.24	-0.61
	变异系数 $C_v/\%$	6.94	5.73	5.33	4.58	5.24	5.43
蛋白质含量	均值	7.37	7.99	8.12	10.47	10.42	9.47
	方差	0.84	0.54	0.36	0.30	0.31	0.39
	标准差	0.92	0.74	0.61	0.55	0.56	0.63
	峰度	-0.51	1.9	2.57	-0.07	-0.44	0.68
	偏度	-0.32	-0.59	0.68	0.55	-0.02	-0.75
	变异系数 $C_v/\%$	12.48	9.26	7.51	5.25	5.37	6.65
垩白度	均值	1.06	1.10	1.21	1.37	1.42	1.37
	方差	0.098	0.096	0.090	0.088	0.099	0.114
	标准差	0.32	0.31	0.30	0.29	0.31	0.34
	峰度	-0.68	-0.72	-0.45	-0.82	-1.21	-1.17
	偏度	-0.07	0.53	0.60	0.71	0.45	0.16
	变异系数 $C_v/\%$	30.18	28.18	24.79	21.16	21.83	24.81

3.2 稻米品质指标变异特征分析

3.2.1 自相关分析

由经典统计值分析可知,WS110 处理稻米只有蛋白质含量和直链淀粉含量 2 个指标较其他处理好,从不同氮肥处理对产量的影响来看,WS0、WS60、WS85、WS110、WS135、WS160 产量分别为 4 699.7、5 086.6、7 995.7、10 964.3、9 647.0、9 281.9 kg/hm²,综合来看 WS110 为最佳处理。因此以 WS110 处理为例,来反映黑土区节水灌溉最佳氮肥处理对区域化变量相关性的影响,利用地统计学 GS + 软件对稻米品质指标进行自相关分析,得出 0°、45°、90°、135° 4 个方向和全方向(ISO)的莫兰指数(Moran's I)值(图 2)。直链淀粉在 0°、90°和 135°方向上变化趋势与全方位变化趋势一致,随着距离增加,自相关程度减弱,由正相关变为负相关,而 45°方向其自相关先上升后下降;ISO 方向上在 4.5 m 左右存在正相关关系,其正相关范围最大的是 45°方向,距离为

6.0 m 左右,最小的正相关范围为 0°方向,距离约为 3.0 m,表明 45°方向对直链淀粉含量的自相关性影响较大。蛋白质含量各方向上的自相关变化只有 45°方向与 ISO 方向变化趋势一致,而 0°和 135°方向上单调递增由负相关变为正相关,增减趋势与 90°方向相反,其 90°方向正相关距离为 5.8 m 左右,大于 ISO 方向上的距离。垩白度在 ISO 方向变化趋势与 0°和 45°方向变化一致,曲线的相似程度较高。而 90°、135°方向上变化趋势以及相关性完全相反,90°方向上全距离内 Moran's I 均为负值,说明此方向上对垩白度的相关性影响较小。综合 ISO 方向来看,3 个指标直链淀粉含量正相关范围最大,大于蛋白质含量和垩白度正相关范围。表明黑土区水氮管理对直链淀粉含量变异结构影响最大。同时从各个方向相关性的变化趋势来看,ISO 方向相对较平稳,而在其他不同方向上各指标相关性的趋势变化不同,这说明各指标的变异性存在异向性。

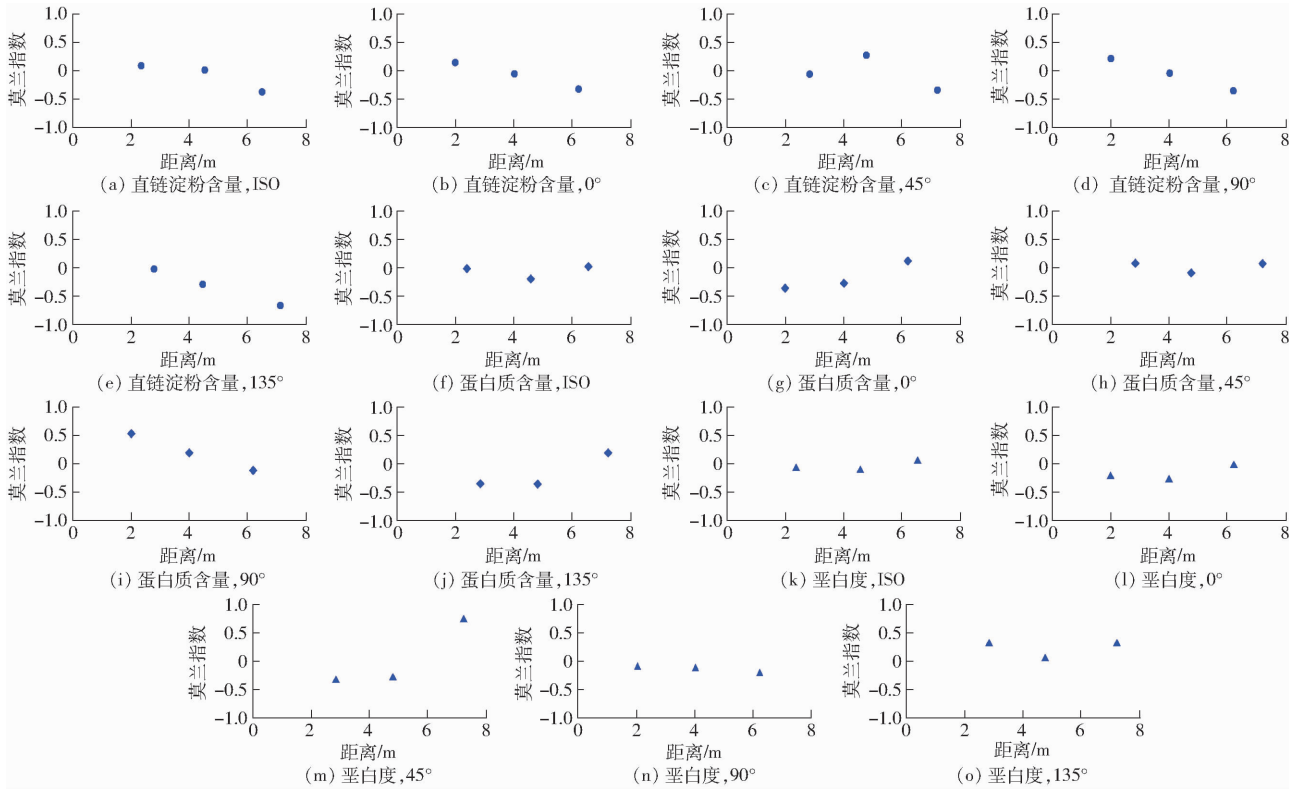


图2 各指标体系空间自相关图

Fig. 2 Spatial auto correlation maps of each indicator

3.2.2 半变异函数拟合和 Kriging 插值分析

利用 GS + 软件应用球状模型对 WS110 处理的半变异函数进行拟合,如图 3 所示,实测值与模拟值的拟合精度较高,均匀分布在变异函数曲线的两侧。由表 2 可知,3 个指标曲线拟合决定系数,球状模型均大于指数模型和线性模型,其决定系数 R^2 分别为 0.97、0.62、0.61。这表明球状模型能较好地模拟稻米品质指标的半变异函数。从表 2 球状模型的 $C_0/(C_0 + C)$ 可以看出,直链淀粉含量 $C_0/(C_0 + C)$ 为 0.74,介于 0.25 ~ 0.75 之间,为中等自相关,而蛋白质含量和垩白度的 $C_0/(C_0 + C)$ 为 0.85 和 0.77,大于 0.75,自相关较弱,此结果与 ISO 方向上的 Moran's I 分析的结果相类似,说明蛋白质含量和垩白度由随机部分引起的变异性程度大于直链淀粉含量,而直链淀粉含量主要是结构性因素引起的变异

性。由各个指标的变程可知,3 个指标的变程分别为 14.31、2.35、2.97 m,都大于采样时设定的间距 2 m,表明试验采取的采样间距已充分满足该研究的要求。通过 Moran's I 和半变异函数两种方法相结合对水稻品质指标进行变异分析,有利于全面了解各指标的变异结构特征。

利用 Kriging 插值法得出小区 3 个指标的空间分布图,如图 4 所示。由于 Kriging 插值在数据空间立体网格化过程中考虑了各指标的相关性,并给出了插值估值误差,使估值的可靠程度更直观、更科学和更接近于实际情况。由图 4 可知垩白度空间分布比直链淀粉和蛋白质含量复杂,最值点凹凸分布比较分散,综合来看直链淀粉和蛋白质含量 2 个指标的空间立体网状图趋于平面,空间分布较均匀且空间分布格局较为接近。而垩白度最值空间分布趋

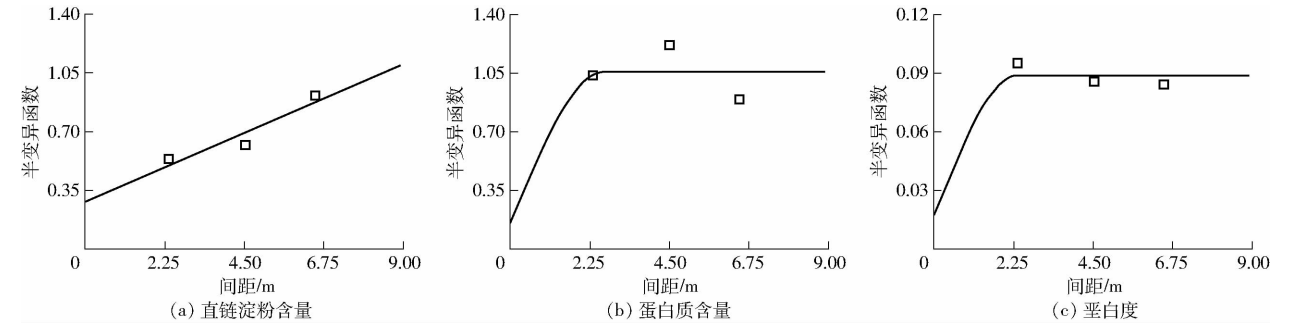


图3 各指数半变异函数

Fig. 3 Semi-variogram functions of each indicator

表 2 半变异函数拟合参数

Tab.2 Semi-variogram function fitting parameters						
参数	模型	C	C + C ₀	变程/m	C/ (C + C ₀)	R ²
直链淀粉含量	球状	0.279	1.097	14.31	0.74	0.97
	指数	0.222	1.275	25.35	0.83	0.95
	线性	0.295	0.801	6.50	0.63	0.97
蛋白质含量	球状	0.047	0.314	2.35	0.85	0.62
	指数	0.060	0.314	0.18	0.81	0.51
	线性	0.259	0.340	6.50	0.24	0.53
垩白度	球状	0.017	0.073	2.97	0.77	0.61
	指数	0.019	0.072	2.52	0.74	0.55
	线性	0.059	0.077	6.50	0.23	0.15

于边缘化,外高内低的分布格局,分布比较离散。

3.3 稻米品质指标变异性影响因素分析

氮肥的施加主要是对水稻生长发育及生育期影响较大,从而影响后期籽粒成熟度,进而影响到品质,稻田中水稻直接利用和吸收的氮素以硝态氮和铵态氮的形态存在于土壤当中,水稻吸收的主要氮

源是土壤当中的硝态氮,而铵态氮经过其硝化作用变为硝态氮供植株所利用。稻田合理地进行水氮管理能够影响土壤中硝态氮和铵态氮以及土壤有机质含量的变化和积累,施氮量的不同会导致土壤中硝态氮和铵态氮含量有所不同,所以研究土壤中硝态氮和铵态氮含量变化并分析其对不同施肥量稻米品质变异强度的影响是可行的。因此,在水稻籽粒成熟期取 0 ~ 20 cm 新鲜水稻根层土壤,其硝态氮和铵态氮含量如图 5 所示。随着施氮量的增加土壤中的硝态氮和铵态氮呈增加趋势,随着施氮肥量的增加,硝态氮和铵态氮在 0 ~ 110 kg/hm²增幅显著,而在 110 ~ 160 kg/hm²略有减少的趋势。硝态氮在施氮量 110 kg/hm²处理下达到最大值,而铵态氮在施氮量 135 kg/hm²处理最大,与文献[15 - 17]结果相类似。由经典统计值分析得出黑土区节水灌溉不同施氮量处理品质指标变异强度与硝态氮和铵态氮含量变化完全相反,表明二者含量变化与水稻品质指标变异强度有一定的响应关系。

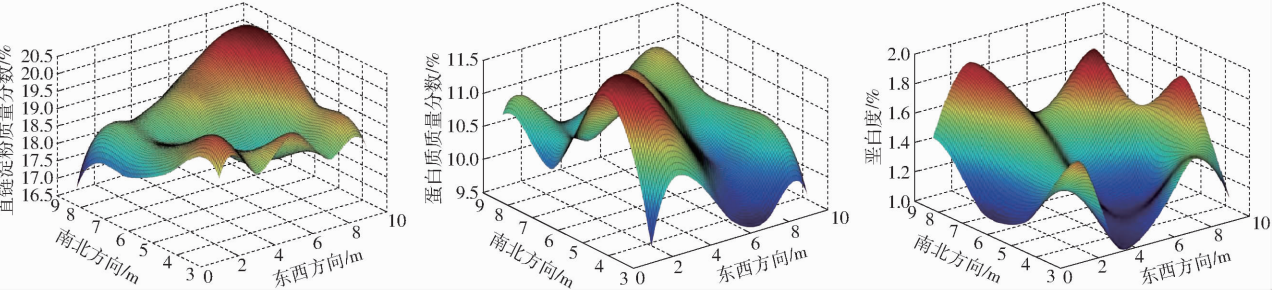


图 4 各指标的空间分布图

Fig.4 Spatial distribution maps of each indicator

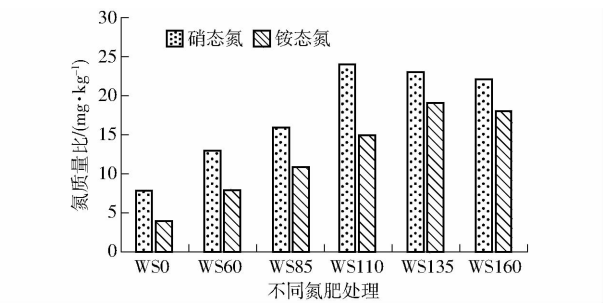


图 5 土壤中的硝态氮和铵态氮

Fig.5 Pin-State nitrogen and ammonium nitrogen in soil

将不同施氮肥处理的 3 个水稻品质指标的变异系数与根层土壤中的硝态氮和铵态氮进行相关分析,如图 6 所示。各指标的变异系数都随着硝态氮和硝态氮含量的增加而降低,呈负相关关系。从各决定系数来看,各指标和硝态氮决定系数大于和铵态氮的决定系数,表明在影响稻米品质变异强度上硝态氮起主要作用。从曲线的下降幅度来看,蛋白质含量随着硝态氮和铵态氮含量的增加下降的幅度最大,表明硝态氮和铵态氮对于蛋白质指标变异的

影响大于直链淀粉含量和垩白度的变异性。

4 讨论

前人对于稻米品质对氮肥的响应关系做了许多的研究,由于研究区域的地理位置、试验材料和施肥技术的不同,研究结论不尽一致。针对特殊的地理位置,本试验以东北寒区黑土作为水稻的生长基质,在节水灌溉条件下研究了不同氮肥处理对水稻品质的变异性的影响。首先通过经典统计分析初步了解寒区黑土水稻 3 个主要品质指标对其的响应关系,不同施肥处理水稻 3 个品质指标呈先增大后减小的变化趋势,施氮量 110、135、160 kg/hm²增幅效果明显。研究结果与文献[18 - 21]的研究结果有所不同,原因可能受到东北寒区黑土特殊地理位置的影响,在水稻生长阶段由于温度、光强、土壤水分状况、土壤类型、pH 值和离子浓度等因素的差异影响了水稻成熟期的生长状况。在节水灌溉 6 个氮肥处理条件下,从变异系数来看,除垩白度和 WS0 处理的蛋白质含量为中等变异外,其他不同氮肥处理均为弱

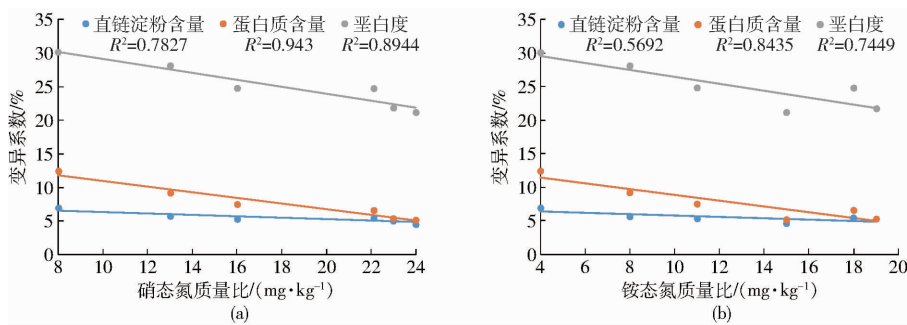


图 6 各个指标与硝态氮、铵态氮的相关性

Fig. 6 Correlation between Pin-State nitrogen, ammonium nitrogen and each indicator

变异,此研究结果与文献[22]相类似但不一致。综合产量来看 WS110 为最佳处理,因此以 WS110 处理为例,来反映黑土区节水灌溉最佳氮肥处理对区域化变量自相关性的影响以及半变异函数的拟合。通过分析综合 ISO 方向来看,相比于直链淀粉,蛋白质含量和垩白度的正相关范围要小,表明在东北寒区黑土直链淀粉的变异结构对水氮管理的响应较大。同时从各个方向相关性的变化趋势来看,ISO 方向相对较平稳,而在其他不同方向上各指标相关性的趋势变化不同,这说明各指标的变异性存在异向性。此结果与 ISO 方向上的 Moran's I 分析的结果相类似,说明蛋白质含量和垩白度由随机部分引起的变异性程度大于直链淀粉,而直链淀粉主要是结构性因素引起的变异性。通过 Moran's I 和半变异函数两种方法相结合对水稻品质指标进行变异分析,有利于全面了解各指标的变异结构特征。不同氮肥的施加改变了土壤当中硝态氮和铵态氮的含量变化,氮肥的不合理利用会给黑土带来不利的影响,高投入未必高产出。本试验结果表明硝态氮和铵态氮并不是线性变化,而是二次抛物线变化趋势,与文献[23]有所不同,原因可能在于本试验氮肥处理比较多,施肥量范围 0、60、85、110、135、160 kg/hm²,而文献[23]的施加氮肥水平只有 50、70、85 kg/hm²,施肥差距较小,没有取到最佳的施肥处理。通过对水稻 3 个品质指标变异系数和硝态氮和铵态氮含量进行拟合,可以看出各指标的变异系数与硝态氮和铵态氮含量呈负相关关系,变异系数越大,含量越低,进一步说明稻米品质指标的变异性与土壤中硝

态氮和铵态氮含量有直接关系,而施加氮肥量是导致土壤中硝态氮和铵态氮含量变化的主要原因,所以研究稻米品质变异性与不同施氮量之间的响应关系是合理的。因此,发展黑土区优质稻米的生产,在做好气候生态区域划分的基础上,要重视土壤肥力的培育和化肥的施用。同时,适量的减少化肥用量,注意合理配比,建立具有优质稻米生产特色的标准化、规范化栽培体系,既减少环境污染,又节约成本,更有利于寒区水稻品质的改善。

5 结论

- (1)经典统计值分析可知,直链淀粉含量、蛋白质含量和垩白度 3 个稻米品质指标都随着施氮量的增加呈先增加后减小变化趋势,施氮量 110、135、160 kg/hm²增幅效果明显。同时,随着施氮量的变化,3 个指标都出现了一定的变异性。
- (2)节水灌溉不同施氮量可以降低区域内稻米品质的生长差异,变异强度由大到小直链淀粉含量和垩白度为 WS0、WS60、WS160、WS85、WS135、WS110,而蛋白质含量则为 WS0、WS60、WS85、WS160、WS135、WS110。
- (3)黑土区节水灌溉不同施氮量稻田品质的变异性与土壤中的硝态氮和铵态氮变化趋势相反,表明不同施氮量改变了土壤中硝态氮和铵态氮的含量,进而影响稻米品质的变异性,与品质的变异性具有一定的响应关系。从决定系数来看,硝态氮对稻米品质变异性起主导作用。

参 考 文 献

1 周明耀,赵瑞龙,顾玉芬,等. 水肥耦合对水稻地上部分生长与生理性状的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(8):38-43.
ZHOU Mingyao, ZHAO Ruilong, GU Yufen, et al. Effects of water and nitrogen coupling on growth and physiological characteristics of overground part of rice[J]. Transactions of the CSAE,2006,22(8):38-43. (in Chinese)

2 张忠学,郑恩楠,王长明,等. 不同水氮处理对水稻荧光参数和光合特性的影响[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):176-183. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170623&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.023.

ZHANG Zhongxue, ZHENG Ennan, WANG Changming, et al. Effect of different water and nitrogen levels on chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of rice[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural

- Machinery, 2017, 48(6): 176 – 183. (in Chinese)
- 3 吴立峰, 张富仓, 范军亮, 等. 水肥耦合对棉花产量、收益及水分利用效率的效应[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 164 – 172. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20151223&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.12.023.
- WU Lifeng, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of water and fertilizer coupling on cotton yield, net benefits and water use efficiency[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 164 – 172. (in Chinese)
- 4 FUKUSHIMA A, SHIRATSUCHI H, YAMAGUCHI H A. Effects of nitrogen application and planting density on morphological traits, dry matter production and yield of large grain type rice variety Bekoaooba and strategies for super high-yielding rice in the Tohoku region of Japan[J]. Plant Production Science, 2015, 14(1): 56 – 63.
- 5 DAS P, SA J H, KIM K H, et al. Effect of fertilizer application on ammonia emission and concentration levels of ammonium, nitrate, and nitrite ions in a rice field[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 154(1–4): 275 – 282.
- 6 赵峥, 岳玉波, 张翼, 等. 不同施肥条件对稻田温室气体排放特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2273 – 2278.
- ZHAO Zheng, YUE Yubo, ZHANG Yi, et al. Impact of different fertilization practices on greenhouse gas emission from paddy field[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, 33(11): 2273 – 2278. (in Chinese)
- 7 KRISHNA P W, MARK B D, RICHARD A C, et al. Nitrogen balance in and export from agricultural fields associated with controlled drainage systems and denitrifying bioreactors[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(11): 1558 – 1566.
- 8 KARPUCZU M E, STRINGFELLOW W T. Kinetics of nitrate removal in wetlands receiving agricultural drainage[J]. Ecological Engineering, 2012, 42(5): 295 – 303.
- 9 刘爱利, 王培法, 丁园圆. 地统计学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- 10 ZHENG Ennan, ZHANG Zhongxue, WANG Changming, et al. Influence of water-saving irrigation and nitrogenous fertilizer application on assessment of the rice quality[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2017, 19(5): 1213 – 1219.
- 11 陈云坪, 王秀, 马伟, 等. 小麦多年产量空间变异与空间关联分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 180 – 184.
- CHEN Yuping, WANG Xiu, MA Wei, et al. Spatial autocorrelation analysis of wheat yield over five years[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 180 – 184. (in Chinese)
- 12 杨雨亭, 尚松浩, 李超. 土壤水分空间插值的克里金平滑效应修正方法[J]. 水科学进展, 2010, 12(2): 208 – 213.
- YANG Yuting, SHANG Songhao, LI Chao. Correcting the smoothing effect of ordinary Kriging estimates in soil moisture interpolation[J]. Advance in Water Science, 2010, 12(2): 208 – 213. (in Chinese)
- 13 刘全明, 陈亚新, 魏占民, 等. 土壤水盐空间变异性指示克立格阈值及其与有关函数的关系[J]. 水利学报, 2009, 40(9): 1127 – 1134.
- LIU Quanming, CHEN Yaxin, WEI Zhanmin, et al. Cutoff value of indicator Kriging method and the relationships between cutoff value and relative functions in expressing spatial variability of soil and salt[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(9): 1127 – 1134. (in Chinese)
- 14 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- 15 张慧霞, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期施肥对旱地土壤剖面硝态氮分布和累积的影响[J]. 山西农业科学, 2014, 42(5): 465 – 469.
- ZHANG Huixia, ZHOU Huaiping, YANG Zhenxing, et al. Effect of long-term fertilization to distribution and accumulation of NO_3^- -N in dry land soil[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2014, 42(5): 465 – 469. (in Chinese)
- 16 SIEMENS J, KAUPENJOHANN M. Contribution of dissolved organic nitrogen to N leaching from four German agricultural soil[J]. Soil Science, 2002, 165(6): 156 – 161.
- 17 杨学云, 张树兰, 袁新民, 等. 长期施肥对壤土硝态氮分布、累积和移动的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 134 – 138.
- YANG Xueyun, ZHANG Shulan, YUAN Xinmin, et al. Effects of desiccation of soil samples on easily mineralizing nitrogen[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 134 – 138. (in Chinese)
- 18 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 490 – 496.
- JIANG Ligeng, CAO Weixing, GAN Xiuqin, et al. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4): 490 – 496. (in Chinese)
- 19 占新春, 周桂香, 吴爽, 等. 施氮量与栽插密度对丰两优1号稻米品质的影响[J]. 杂交水稻, 2006, 21(6): 66 – 68.
- ZHAN Xinchun, ZHOU Guixiang, WU Shuang, et al. Effects of amount of nitrogen applied and planting density on grain quality of Fengliangyou1[J]. Hybrid Rice, 2006, 21(6): 66 – 68. (in Chinese)
- 20 金军, 徐大勇, 蔡一霞, 等. 施氮量对水稻主要米质性状及 RVA 谱特征参数的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 154 – 158.
- JIN Jun, XU Dayong, CAI Yixia, et al. Effect of N-fertilizer on main quality characters of rice and RVA profile parameters[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(2): 154 – 158. (in Chinese)
- 21 黄元财, 王伯伦, 王术, 等. 施氮量对水稻产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(5): 688 – 692.
- HUANG Yuancai, WANG Bolun, WANG Shu, et al. Effect of amount of N-applied on grain yield and quality of rice[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(5): 688 – 692. (in Chinese)
- 22 周培南, 冯惟珠, 许乃霞, 等. 施氮量和移栽密度对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 江苏农业研究, 2001, 22(1): 27 – 31.
- ZHOU Peinan, FENG Huaizhu, XU Naixia, et al. Effects of nitrogen and density on yield and grain quality of rice[J]. Jiangsu Agricultural Research, 2001, 22(1): 27 – 31. (in Chinese)
- 23 聂大杭, 陈蕾蕾, 梁青, 等. 减控氮施肥量对大棚土壤硝态氮和铵态氮的影响[J]. 辽宁农业科学, 2017, 57(4): 29 – 33.
- NIE Dahang, CHEN Leilei, LIANG Qing, et al. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen and ammonium nitrogen in greenhouse soil[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2017, 57(4): 29 – 33. (in Chinese)