

胡世龙,程博,曹凑贵,等.不同氮肥水平下喷施木醋液对水稻产量和食味品质的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(1):133-140.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.01.012

不同氮肥水平下喷施木醋液对水稻产量和食味品质的影响

胡世龙¹,程博¹,曹凑贵^{1,2},余铭¹,文木嘉鼎¹,苏亚飞¹,江洋¹

1.华中农业大学植物科学技术学院,武汉 430070;

2.长江大学主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心,荆州 434023

摘要 以优质食味常规籼稻品种洋晒早和常规粳稻鄂香 2 号为材料,在 4 个氮肥施用水平(0、50、100、200 kg/hm²)条件下,设置喷施和不喷施木醋液,研究在不同施氮水平下施用木醋液对水稻产量和食味品质的影响。结果显示:与不喷施木醋液相比,不同施氮条件下喷施木醋液均有显著的增产效果,其中喷施木醋液对常规粳稻鄂香 2 号的增产效果更为明显,且在低氮肥水平下喷施木醋液的增产效果更为显著;不同施氮条件下喷施木醋液可显著改善稻米的加工品质,对糙米率和精米率有明显提升作用;不同施氮条件下喷施木醋液还有利于改善稻米的蒸煮食味品质,可显著提高稻米的消减值,降低崩解值,进而提升稻米的食味值,且在低氮肥水平下喷施木醋液对稻米食味品质的改善作用更为明显。结果表明,喷施木醋液,尤其是低氮条件下喷施木醋液可显著提高水稻产量并改善稻米食味品质。

关键词 木醋液;氮肥;优质稻;产量;食味品质;植物生长调节剂

中图分类号 S 511.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)01-0133-08

水稻作为全国最重要的粮食作物,生产总量稳定^[1]。随着产量的逐渐增加,适口性、食味好的稻米越来越受到广大消费者的喜爱^[2]。氮肥在水稻生产过程中有广泛的应用,孙兴荣等^[3]研究表明氮肥的施用量不同会直接影响水稻的产量,对水稻加工品质、外观品质、直链淀粉含量等均有不同程度的影响。还有研究发现,随着氮肥施用量的减少稻米的相关加工品质可以得到改善,但产量又会有所降低^[4]。仅依靠施用氮肥难以兼顾水稻产量与品质的平衡,且随着人们对绿色、无公害食品需求的增加,木醋液作为一种天然的植物生长调节物质,在农业生产上的应用研究也逐渐变多,从大田作物水稻、油菜到园艺作物番茄、辣椒等,应用的范围十分广泛^[5]。

木醋液是烧制木炭过程中将产生的烟气冷却收集而来的液态物质,在现代工业中就是有机生物原料在经过炭化或者干馏过程中产生的烟气冷凝收集而来的褐色液体^[6]。木醋液的化学成分多样且复杂,主要是由水、有机酸、各种小分子醛、酚类组成,

有机酸以乙酸、丙酸含量最多^[7]。21 世纪以来,世界各国对木醋液在大田作物生产上的应用研究越来越多,徐红涛^[8]研究表明,在水稻秧苗生长期喷施木醋液作为植物生长调节剂能有效地增加水稻秧苗的株高、生物量以及显著抑制苗期的立枯病。王宏燕等^[9]研究发现喷施一定浓度的木醋液能够有效地提高水稻幼苗在低温环境下的叶绿素、活性氧、脯氨酸和可溶性糖含量。Bubpha 等^[10]研究表明木醋液代替 GA₃ 可起到种子引发作用从而提高水稻种子的发芽速度和最终发芽率。谷思成^[11]研究了叶面喷施木醋液及其复合配剂对油菜生长发育及产量的影响,结果表明,在油菜三叶期施用适宜浓度的木醋液可以显著增加油菜幼苗的株高、根颈粗和叶面积,并且有显著的增产效果。

前人关于氮肥运筹、不同时期肥料施用等因素对水稻产量和食味品质的影响已有一些研究^[12-13],但关于木醋液对水稻产量和食味品质的影响特别是针对木醋液与氮肥配合施用的研究较少。本研究开展田间小区试验,在 4 个施氮水平(0、50、100、200

收稿日期:2021-04-23

基金项目:国家重点研发计划专项(2018YFD0301304);中央高校基本科研业务费专项(2662019QD049)

胡世龙,E-mail:1024169785@qq.com

通信作者:江洋,E-mail:jiangyang@mail.hzau.edu.cn

kg/hm²)条件下设置喷施和不喷施木醋液,探究在不同氮肥水平下施用木醋液对水稻产量和食味品质的影响,旨在为木醋液配合氮肥施用在优质水稻生产上的应用提供理论与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点和土壤特性

于 2020 年 5—9 月在华中农业大学试验基地进行。试验地土壤质地为黄棕壤,pH 值为 6.00,铵态氮 0.83 mg/kg、硝态氮 23.67 mg/kg、速效磷 16.80 mg/kg、速效钾 152.88 mg/kg、有机质 7.51 mg/kg。

1.2 试验材料

供试材料为洋晒早(常规籼稻)与鄂香 2 号(常规粳稻),是湖北省大面积生产应用的代表性优质食味水稻品种。试验所用木醋液为杨木制炭烟气冷凝所成,以乙酸、丁酸、酮类、酯类、苯酚及其衍生物等有机物组成,pH 值为 3.45,由湖北楚天生物能源科技开发有限公司提供。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计,以氮肥施用量(N)为主区,喷施与不喷施木醋液为裂区,设置 4 个氮肥水平,总施氮量分别为 0(N₀)、50(N₁)、100(N₂)、200 kg/hm²(N₃),各氮肥水平下设置 2 个木醋液处理,为空白对照(CK)和喷施 400 倍木醋液处理(M)。木醋液在水稻孕穗期均匀喷施于 2 个品种的水稻叶片上。所有处理的磷肥和钾肥施用量按照 50 kg/hm²(P₂O₅)和 100 kg/hm²(K₂O)统一施用。氮肥按照底肥 60%、分蘖肥 40%施用,分蘖肥分 2 次施用,分别在 2 叶 1 心和 5 叶 1 心追施,均使用尿素;磷肥作为基肥一次性施入;钾肥按照基肥和穗肥等比例施用。

1.4 测定指标与方法

1)产量。收获前在每个小区中随机确定 3 个样本点,每个样本点面积为 1 m²,计算单位面积穗数;在各小区选取长势基本一致、相连的 10 株,调查它们的穗粒数与结实率;以 1 000 粒的实粒(干种子)用电子天平称质量,并重复 3 次。成熟期各小区除去边行后收割测产,最后折算成 667 m²的产量^[14]。

2)稻米外观与加工品质。收获水稻脱粒后自然风干,依照国标 GB/T 17891—1999《优质稻谷》测定稻米的糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率以及垩白度,每个处理重复 3 次^[14]。

3)稻米食味品质。采用日本佐竹公司生产的炊饭食味计(STA-1A 型)及硬度黏度仪(RHS-1A 型)进行米饭食味特性测定。食味值测定的方法:准确称取 30.00 g 精米备用。将准备好的精米放入钢罐内,洗涤 30 s 后按籼稻米与水质量比为 1:1.40、粳稻米与水质量比为 1:1.35 的米水比加水,从洗涤开始计时浸泡 30 min,置于电饭煲(米饭食味仪配套)中加热蒸煮 30 min,切断电源,保温 10 min。取出钢罐,将其中米饭轻轻搅拌呈翻起状态,拌后放入配套风冷装置(米饭食味仪配套)冷却 20 min。风冷后取出,换配套钢盖,密封自然冷却 90 min 后取 8.00 g 米饭制样^[15]。直接读取硬度、黏度、平衡度和食味值,食味值总分为 100 分。然后应用米饭硬度黏度计测定供试样品的硬度、黏度、平衡度和弹性,每个米饭样重复 3 次。

4)稻米淀粉黏滞性。Super 3 型 RVA 快速黏度分析仪(澳大利亚 Newport Scientific 公司)测定淀粉黏滞性相关指标。峰值黏度(peak viscosity)、最低黏度(trough viscosity)、崩解值(breakdown)、最终黏度(final viscosity)、消减值(setback)、峰值时间(peak time)、糊化温度(pasting temperature)来表示 RVA 谱的相关特征性质,每个处理重复 3 次。

1.5 数据分析

所有数据统计分析采用 SPSS 26.0 软件和 Excel 2016 进行。

2 结果与分析

2.1 施用木醋液对水稻产量的影响

氮肥与木醋液处理下水稻产量构成因子分析结果(表 1)表明,在同一氮素水平下喷施木醋液能显著促进穗粒数的增加,施用木醋液较不施用木醋液分别增加了 25.65%~34.12%(洋晒早)、1.49%~37.56%(鄂香 2 号),而对于单位面积穗数和结实率的影响不大。在不同氮素水平下,喷施木醋液对优质粳稻鄂香 2 号的产量增加有显著的促进效果且在 N₁ 条件下促进增产的效果最好。喷施木醋液能够显著增加不同施 N 水平条件下优质籼粳稻的产量,洋晒早(优质籼稻)的木醋液处理组较不施用木醋液增产 5.68%~53.32%,鄂香 2 号(优质粳稻)的木醋液处理组较不施用木醋液增产 10.51%~50.62%。方差分析结果(表 1)表明,氮肥、木醋液、品种因素对优质稻产量的影响极显著。

表 1 木醋液处理与氮肥水平对优质稻产量性状的影响
Table 1 Effects of wood vinegar treatment and nitrogen fertilizer levels on yield traits of high-quality rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	产量构成因子 Production factors				产量/ (kg/667 m ²) yield
		单位面积穗数 Number of spikes per unit area	结实率/% Seed setting rate	穗粒数 Number of grains per spike	千粒重/g 1 000- grain weight	
洋晒早 Yangxizao	N0-CK	278.33c	46.26de	72.89bc	37.02ab	232.26d
	N0-M	279.00c	36.58e	95.17a	37.72a	245.52d
	N1-CK	313.33bc	47.60cde	72.45bc	35.52bc	252.88d
	N1-M	301.00bc	56.67bcd	97.17a	35.35bc	387.71c
	N2-CK	395.67a	61.37b	69.33c	33.87c	379.65c
	N2-M	330.33b	60.62bc	87.11ab	34.63c	401.20c
	N3-CK	404.33a	77.48a	71.42c	34.35c	510.91b
	N3-M	384.00a	80.95a	92.39a	34.48c	659.33a
	平均 Mean	336.00	58.44	82.24	35.37	383.68
鄂香 2 号 Exiang 2	N0-CK	172.00d	47.88e	76.00ab	35.83a	150.88c
	N0-M	201.00bcd	58.66d	83.50a	34.83bc	227.26bc
	N1-CK	273.67ab	50.08de	53.67b	34.62bc	168.49c
	N1-M	244.00abcd	57.62d	73.83ab	34.45bc	239.04bc
	N2-CK	180.67cd	79.94b	67.33ab	34.42bc	216.45bc
	N2-M	282.00a	70.43c	68.33ab	34.57bc	308.78ab
	N3-CK	284.00a	91.99a	62.78ab	34.93b	380.54a
	N3-M	251.00abc	88.88ab	81.89a	34.18c	420.51a
	平均 Mean	236.00	68.19	70.92	34.73	263.99
方差分析 Analysis of variance						
氮肥 Nitrogen fertilizer(A)		* *	* *	NS	* *	* *
木醋液 Wood vinegar(B)		NS	NS	* *	NS	* *
品种 Cultivar (C)		* *	* *	* *	* *	* *
A×B		NS	NS	NS	NS	NS
A×C		* *	NS	NS	* *	NS
B×C		*	NS	NS	*	NS
A×B×C		* *	*	NS	NS	NS

注：同一品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平。*，** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著，NS 表示差异不显著(P>0.05)。下同。Note: Different lowercase letters after the same type of data in the same column indicate that the difference between treatments is 5% significant. * and ** mean significant difference at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. NS: No significant difference. The same as follows.

2.2 施用木醋液对稻米品质的影响

1) 外观与加工品质。如表 2 所示，在同一氮素水平下喷施木醋液对优质籼粳稻的垩白粒率与垩白度没有显著影响。喷施木醋液可以显著提高同一氮素水平下稻米的糙米率和精米率，喷施木醋液较不施用木醋液的糙米率和精米率分别增加 6.07%~8.06% 和 5.48%~10.39% (洋晒早)、6.34%~10.66% 和 4.12%~11.14% (鄂香 2 号)；对于整精米率影响不大。木醋液处理对优质粳稻鄂香 2 号的外观与加工品质影响程度大于对优质籼稻洋晒早的影响程度。

方差分析结果(表 3)表明，氮肥对优质稻外观与加工品质均有极显著性影响。木醋液处理对垩白粒率、糙米率，精米率和整精米率有显著影响，而对垩白度的影响不显著，氮肥和木醋液处理对不同处理条件下垩白粒率、垩白度和整精米率的交互作用明显。结果表明不同优质稻品种的垩白粒率、垩白度、精米率和整精米率差异极显著，并且氮肥和木醋液处理对不同优质稻品种的外观与加工品质均有显著的交互作用影响。

2) 食味品质。由表 4 可知，木醋液施用能够有效提升优质籼粳稻的食味值，而且施用木醋液能够

较大程度地改善因施用过多氮肥(N3)而导致食味品质下降的问题,在空白和低氮素水平(N1)下喷施木醋液能够显著提高稻米的食味值,分别提高了11.51%和2.74%(洋晒早)、4.56%和5.47%(鄂香2号)。食味品质性状分析表明,木醋液处理和随着氮

肥施用水平增加条件下,大多数处理的硬度与黏度都是提升的,在同一氮肥水平下,喷施木醋液后优质籼稻洋晒早的硬度与黏度较不施用之前分别提升了22.04%~9.78%和10.86%~67.92%。可见氮肥配合木醋液施用能够显著改善稻米的食味品质。

表 2 木醋液处理与氮肥水平对优质稻的外观与加工品质的影响

Table 2 Effects of wood vinegar treatment and nitrogen fertilizer levels on the appearance and processing quality of high-quality rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	外观品质 Appearance quality		加工品质 Processing quality		
		垩白粒率 Chalkiness percentage	垩白度 Chalkiness degree	糙米率 Brown rice rate	精米率 Milled rice rate	整精米率 Head milled rice rate
洋晒早 Yangxizao	N0-CK	11.17b	2.20de	72.93d	58.67e	46.50d
	N0-M	19.50a	4.77a	78.25b	63.67bc	48.93cd
	N1-CK	18.67a	3.90ab	72.92d	58.82e	39.11e
	N1-M	16.53a	3.40bc	78.80b	64.93b	50.30bc
	N2-CK	8.00bc	1.43de	74.32c	61.68d	49.15cd
	N2-M	8.73bc	1.70de	78.83b	65.06b	52.95ab
	N3-CK	5.60c	1.17e	75.52c	63.14cd	54.18a
	N3-M	11.00b	2.43cd	81.32a	67.00a	54.10a
	平均 Mean	12.40	2.63	76.61	62.87	49.40
鄂香 2 号 Exiang 2	N0-CK	29.67bc	11.97b	71.68c	60.91d	56.15b
	N0-M	35.00b	11.80b	79.32a	67.26b	60.73a
	N1-CK	55.60a	21.93a	74.73b	61.75cd	51.01cd
	N1-M	53.00a	19.63a	79.47a	66.91b	54.41bc
	N2-CK	54.70a	20.73a	73.92bc	61.11d	49.68d
	N2-M	50.17a	18.90a	80.35a	67.92ab	61.92a
	N3-CK	23.07c	5.83c	73.70bc	66.91b	53.33bcd
	N3-M	30.37bc	10.30b	80.92a	69.67a	54.76bc
	平均 Mean	41.45	15.14	76.76	64.87	55.25

表 3 2 个优质稻品种木醋液处理与氮肥水平下外观与加工品质的方差分析

Table 3 Variance analysis of appearance and processing quality of two varieties of wood vinegar treatment and nitrogen fertilizer level

变异来源 Source of variation	处理间 Treatment	氮肥 Nitrogen Fertilizer (A)	木醋液 Wood vinegar (B)	品种 Cultivar (C)	A×B	A×C	B×C	A×B×C
自由度 df	15	3	1	1	3	3	1	3
垩白粒率 CP	89.462**	71.624**	5.568*	945.351**	7.130**	50.638**	0.818 ^{NS}	0.674 ^{NS}
垩白度 CD	114.193**	81.488**	1.725 ^{NS}	1217.991**	7.355**	71.439**	1.433 ^{NS}	3.633*
糙米率 BR	31.779**	10.969**	421.664**	0.269 ^{NS}	1.219 ^{NS}	2.986*	3.779 ^{NS}	1.818 ^{NS}
精米率 MR	32.501**	23.661**	346.219**	47.983**	0.341 ^{NS}	2.056 ^{NS}	7.231*	2.636 ^{NS}
整精米率 HMR	32.700**	26.823**	106.300**	152.873**	13.137**	24.219**	1.285 ^{NS}	12.502**
F _{0.05}	1.99	2.90	4.15	4.15	2.90	2.90	4.15	2.90
F _{0.01}	2.67	4.46	7.50	7.50	4.46	4.46	7.50	4.46

表 4 木醋液处理与氮肥水平对优质稻食味品质性状的影响

Table 4 Effects of wood vinegar treatment and nitrogen fertilizer levels on the eating quality traits of high-quality rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	食味品质 Taste quality				食味值 Taste value
		硬度 Hardness	黏度 Viscosity	平衡度 Balance	弹性 Elasticity	
洋晒早 Yangxizao	N0-CK	1.797b	3.071cd	1.731bc	8.428e	76.337f
	N0-M	2.193a	3.397bc	1.568c	8.918cd	85.127de
	N1-CK	1.273c	2.744cd	2.254a	9.179abc	84.307e
	N1-M	2.070ab	4.410a	2.156ab	8.657de	86.615cd
	N2-CK	1.250c	2.907cd	2.385a	9.375ab	89.688a
	N2-M	1.977ab	4.508a	2.287a	9.016bcd	87.585bc
	N3-CK	1.103c	2.352d	2.221a	9.571a	88.494ab
	N3-M	1.983ab	3.953ab	1.993abc	9.049bcd	87.590bc
	平均 Mean	1.706	3.418	2.074	9.024	85.718
鄂香 2 号 Exiang 2	N0-CK	4.700ab	4.279b	0.882d	7.807bcd	75.814f
	N0-M	4.393bc	5.129ab	1.176c	7.644d	79.271c
	N1-CK	4.227bc	4.606b	1.078cd	7.775bcd	76.777e
	N1-M	5.063a	4.541b	0.915d	8.069a	80.980b
	N2-CK	4.013c	5.880a	1.470a	7.938ab	85.029a
	N2-M	4.250bc	6.109a	1.437ab	7.709cd	84.564a
	N3-CK	4.460bc	5.324ab	1.209bc	7.873bc	78.489d
	N3-M	4.220bc	6.239a	1.503a	7.709cd	84.840a
	平均 Mean	4.416	5.263	1.209	7.816	80.72

2.3 施用木醋液对稻米 RVA 谱特征的影响

由表 5 可知,不同氮素水平下,木醋液处理对 2 个优质稻品种的峰值时间和糊化温度没有明显的影响;木醋液处理对最终黏度有显著的提升作用,喷施木醋液较不施用木醋液的最终黏度分别平均提高了

47.02%(洋晒早)和 49.04%(鄂香 2 号)。木醋液处理下优质籼稻洋晒早的淀粉黏滞特性中的最高和最低黏度没有明显的差异,对优质粳稻鄂香 2 号的最髙黏度和最低黏度则有较明显的影响,分别提高了 5.06%~29.69%和 39.09%~95.90%;木醋液处理

表 5 木醋液处理与氮肥水平下优质稻淀粉黏度特性的影响

Table 5 Effects of wood vinegar treatment and nitrogen fertilizer level on starch viscosity characteristics of high-quality rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	峰值黏度/ (mPa·s) Peak viscosity	最低黏度/ (mPa·s) Trough viscosity	崩解值/ (mPa·s) Breakdown	最终黏度/ (mPa·s) Final viscosity	消减值/ (mPa·s) Setback	峰值时间/s Peak time	糊化温度/℃ Pasting temperature
洋晒早 Yangxizao	N0-CK	2 523.0c	1 264.0d	1 259.0d	2 125.0e	-398.0c	5.80ab	77.50a
	N0-M	4 199.0b	2 675.0a	1 524.0bc	4 054.0a	-145.0a	6.40a	73.55a
	N1-CK	2 876.0c	1 429.0d	1 447.0c	2 215.0e	-661.0d	5.80ab	76.00a
	N1-M	3 861.0b	2 386.0b	1 475.0bc	3 670.0b	-191.0a	6.27a	74.40a
	N2-CK	4 598.0a	2 260.0b	2 338.0a	3 158.0c	-1 440.0e	6.00ab	76.00a
	N2-M	3 890.0b	2 256.0b	1 634.0b	3 471.0bc	-419.0c	6.27a	75.15a
	N3-CK	3 987.0b	1 683.0c	2 304.0a	2 585.0d	-1 402.0e	5.60b	75.15a
	N3-M	3 907.0b	2 361.0b	1 546.0bc	3 629.0b	-278.0b	6.33a	73.50a
	平均 Mean	3 730.1	2 039.3	1 690.9	3 113.4	-616.8	6.06	75.16
CV/%	18.09	24.30	23.20	22.58	-80.93	6.30	4.51	
鄂香 2 号 Exiang 2	N0-CK	2 937.0c	1 267.0d	1 670.0cd	2 049.0d	-888.0e	5.53c	76.75a
	N0-M	3 809.0a	2 482.0a	1 327.0e	3 494.0b	65.0a	6.40a	74.40a
	N1-CK	3 333.0b	1 528.0c	1 805.0bc	2 364.0c	-969.0f	5.67bc	76.70a
	N1-M	3 820.0a	2 475.0a	1 345.0e	3 494.0b	-126.0b	6.47a	75.15a
	N2-CK	3 568.0ab	1 650.0c	1 918.0ab	2 532.0c	-1 036.0f	5.73bc	75.90a
	N2-M	3 816.0a	2 295.0ab	1 521.0d	3 549.0b	-267.0c	6.27ab	75.20a
	N3-CK	3 657.0ab	1 576.0c	2 081.0a	2 469.0c	-1 188.0g	5.67bc	75.90a
	N3-M	3 842.0a	2 227.0b	1 615.0d	3 494.0b	-348.0d	6.20ab	73.60a
	平均 Mean	3 597.8	1 937.5	1 660.3	2 978.1	-594.6	5.99	75.45
CV/%	9.45	24.16	15.90	22.63	-76.91	7.35	4.39	

下优质稻的消减值都有显著的增幅,分别增加 63.57%~80.17%(洋晒早)、70.71%~107.32%(鄂香 2 号);木醋液处理对优质籼稻洋晒早的淀粉黏度特性的崩解值无明显的影响,但显著降低了优质粳稻鄂香 2 号的崩解值,降低了 20.70%~25.48%。2 个优质稻品种不同氮肥水平下木醋液处理间消减值的变异系数较大,峰值黏度、最低黏度和最终黏度的变异系数次之,峰值时间和糊化温度的变异系数最小,说明不同氮肥水平下木醋液处理对优质籼粳稻 RVA 谱特征值中的消减值影响最大。

3 讨论

3.1 氮肥和木醋液处理对水稻产量的影响

关于木醋液处理对水稻产量的研究,孔高杰^[12]进行了不同浓度小麦秸秆木醋液对水稻产量和品质的影响研究,结果表明小麦秸秆木醋液稀释至 600 倍时能够最大程度地改善豫粳 8 号和黄优 520 的产量并能改善水稻的外观和加工品质,提升水稻的营养品质。王海英^[13]的研究结果表明,柞木、杂木、桦木 3 种木醋液稀释 300 倍均有显著提高水稻产量的效果。相关研究表明一定范围内增施氮肥会显著提高水稻产量^[16]。本研究在氮肥与木醋液的交互作用下水稻产量能大幅度地提高,优质粳稻鄂香 2 号在低氮处理下施用木醋液较不施用产量增幅明显。其原因可能是喷施木醋液能够促进水稻叶片叶绿素的合成,进而提高水稻叶片的光合效率,而水稻孕穗期叶片光合能力的提升可以促进水稻颖花分化、减少颖花退化,最终增加水稻穗粒数^[6,13]。

3.2 氮肥和木醋液处理对水稻外观与加工品质的影响

孔高杰^[12]研究发现,不同浓度木醋液处理对豫粳 8 号的垩白率有显著的影响,在木醋液稀释 400 倍条件下垩白率比对照组平均减少 17.91%。本研究结果表明,在同一氮素水平下喷施木醋液对优质籼粳稻的垩白粒率与垩白度没有显著影响。不同氮素水平下木醋液处理能够显著提升稻米的加工品质,特别是糙米率和精米率分别增加了 6.07%~8.06%和 5.48%~10.39%(洋晒早)、6.34%~10.66%和 4.12%~11.14%(鄂香 2 号)。喷施木醋液对优质常规籼粳稻的整精米率提升没有显著差异,原因可能是受垩白的影响导致稻米的整精米加工具有很大的不确定性。木醋液处理对优质粳稻鄂香 2 号的外观与加工品质影响程度大于对优质籼稻

洋晒早的影响程度,初步推断是籼稻粒形较长,在加工过程中较粳稻易形成碎米,从而导致洋晒早品种的加工品质稍劣。本研究还发现在较低氮素水平下木醋液处理对糙米率和精米率的增幅较大,随着氮肥施用水平的提高施用木醋液对糙米率和精米率的增幅逐渐减小。

3.3 氮肥和木醋液处理对水稻蒸煮食味品质的影响

木醋液对水稻食味品质的影响尚缺乏系统性的研究,孔高杰^[12]认为 600 倍木醋液处理能提高水稻品种豫粳 8 号和中质优 2004 蛋白质含量,对稻米中直链淀粉的含量无显著影响。本研究发现,在低氮条件下木醋液处理能够显著提升优质粳稻鄂香 2 号的食味品质。叶面喷施木醋液提高水稻食味值的原因可能是木醋液中的苯酚及其衍生物和氮化合物对籽粒灌浆和稻米中直链淀粉含量有一定的调节作用^[17]。

淀粉 RVA 谱特征值是反映稻米品质的重要指标^[18-20],隋炯明等^[21]和许砚杰^[22]的研究表明,籼稻品种崩解值 >80 RVU、消减值 <20 RVU 时其食味品质较好,粳稻品种崩解值 >80 RVU、消减值为负值时其食味品质较好。本研究中木醋液处理与氮素水平对优质籼粳稻的 RVA 谱特征值的最终黏度与消减值都有明显提升。木醋液处理对优质籼稻洋晒早的淀粉 RVA 谱特征值中的最高和最终黏度无影响,对优质常规粳稻鄂香 2 号的最高黏度与最低黏度有显著提升作用。可能是不同类型水稻品种本身的差异造成的,导致其对木醋液与氮肥的敏感程度和吸收利用程度不尽相同。

本研究结果表明,不同施氮条件下喷施木醋液均有显著的增产效果,其中喷施木醋液对常规粳稻鄂香 2 号的增产效果更为明显,在总施氮量较低的水平下喷施木醋液的增产效果更为显著。4 个氮肥水平处理下喷施木醋液对稻米的糙米率和精米率均有明显提升作用,此外还有利于改善稻米的蒸煮品质,显著提高稻米的消减值,降低崩解值,进而提升稻米的食味值,且在低氮肥水平下喷施木醋液对稻米食味品质的改善作用更为显著。本研究结果可为木醋液配合氮肥施用在优质水稻生产上的应用提供理论与技术支撑。

参考文献 References

- [1] 方福平,程式华.水稻科技与产业发展[J].农学学报,2018,8(1):92-98. FANG F P, CHENG S H. The development of rice science, technology and industry in China[J]. Journal of agriculture, 2018, 8(1): 92-98 (in Chinese with English abstract).
- [2] 徐春春,纪龙,陈中督,等.中国水稻生产发展的绿色趋势[J].生命科学,2018,30(10):1146-1154. XU C C, JI L, CHEN Z D, et al. Trends of green development of rice production in China[J]. Chinese bulletin of life sciences, 2018, 30(10): 1146-1154 (in Chinese with English abstract).
- [3] 孙兴荣,卞景阳,刘琳帅,等.氮肥施用量对水稻产量及品质的影响[J].黑龙江农业科学,2019(11):48-51. SUN X R, BIAN J Y, LIU L S, et al. Effects of silicon fertilizer concentration on yield and quality of maize[J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2019(11): 48-51 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张岩,马士学,王青菊,等.不同氮肥施用量对水稻产量及品质的影响[J].北方水稻,2009,39(5):16-18. ZHANG Y, MA S X, WANG Q J, et al. Effect of nitrogen fertilizer amount on yield and quality in rice[J]. Northern rice, 2009, 39(5): 16-18 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王诗语,孙璐.木醋液对植物生长的影响研究进展[J].现代农业科技,2020(11):131,134. WANG S Y, SUN L. Research progress on the effects of wood vinegar on plant growth[J]. Modern agricultural science and technology, 2020(11): 131, 134 (in Chinese).
- [6] 平安.木醋液在农业上的应用及作用机理研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2010:1-11. PING A. Research on the agriculture application of pyrolygneous acid and mechanism[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010: 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘长风,李敏,高品一,等.木醋液的来源、成分及其应用研究进展[J].中国农学通报,2016,32(1):28-32. LIU C F, LI M, GAO P Y, et al. Research progress of source, chemical compositions and application of wood vinegar[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2016, 32(1): 28-32 (in Chinese with English abstract).
- [8] 徐红涛.木醋液对水稻秧苗素质和立枯病抑制效果的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017. XU H T. Effect of pyrolygneous acid on quality of rice seedling and seedling blight[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王宏燕,陈琳,马晓伟,等.低温胁迫下木醋液对水稻幼苗抗寒性的影响[J].东北农业大学学报,2019,50(2):1-8. WANG H Y, CHEN L, MA X W, et al. Effect of wood vinegar on cold resistance of rice seedlings under low temperature stress[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(2): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [10] BUBPHA S, ANAN P, A. SUSANA G, et al. Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production[J/OL]. Agronomy for sustainable development, 2017, 37: 56 [2021-04-23]. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0466-2>.
- [11] 谷思成.叶面喷施木醋液及其复配剂对油菜生长发育及产量的影响[D].武汉:华中农业大学,2020:2-7. GU S C. Effects of foliar spraying with wood vinegar and its compound on the growth and yield of rapeseed[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [12] 孔高杰.小麦秸秆木醋液对水稻产量和品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2011. KONG G J. Effect of wheat straw wood vinegar on grain yield and qualities of rice[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王海英.木醋液对植物生长调节机理研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2005:75-88. WANG H Y. Study on regulating mechanism of wood vinegar to plant growth[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2005: 75-88 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈梦云,李晓峰,程金秋,等.秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味水稻产量及品质的影响[J].作物学报,2017,43(12):1802-1816. CHEN M Y, LI X F, CHENG J Q, et al. Effects of total straw returning and nitrogen application regime on grain yield and quality in mechanical transplanting japonica rice with good taste quality[J]. Acta agronomica sinica, 2017, 43(12): 1802-1816 (in Chinese with English abstract).
- [15] 周磊.不同配比控释肥对优质食味水稻产量及品质的影响[D].扬州:扬州大学,2020:44-46. ZHOU L. Effect of different combination of controlled release fertilizers in yield and quality of rice with good taste quality[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020: 44-46 (in Chinese with English abstract).
- [16] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J].中国农业科学,2002,35(9):1095-1103. PENG S B, HUANG J L, ZHONG X H, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. Scientia agricultura sinica, 2002, 35(9): 1095-1103 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李晓伟,王恩广,王杨,等.生长调节剂对水稻蒸煮食味品质的影响[J].吉林农业,2010(12):314-315. LI X W, WANG E G, WANG Y, et al. Effects of growth regulators on the cooking and eating quality of rice[J]. Jilin agriculture, 2010(12): 314-315 (in Chinese).
- [18] 曲红岩,张欣,施利利,等.水稻食味品质主要影响因子分析[J].江苏农业科学,2017,45(6):172-175. QU H Y, ZHANG X, SHI L L, et al. Analysis of the main factors affecting the eating quality of rice[J]. Jiangsu agricultural sciences, 2017, 45(6): 172-175 (in Chinese).
- [19] 贾良,丁雪云,王平荣,等.稻米淀粉RVA谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J].作物学报,2008,34(5):790-794. JIA L, DING X Y, WANG P R, et al. Rice RVA profile characteristics and correlation with the physical/chemical quality[J]. Acta Agron Sin, 2008, 34(5): 790-794 (in Chinese with English abstract).

- [20] YING X, YANG Y, HE L, et al. Amylose content and RVA profile characteristics of noodle rice under different conditions [J]. *Agronomy journal*, 2020, 112: 117-129.
- [21] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 657-663. SUI J M, LI X, YAN S, et al. Studies on the rice RVA profile characteristics and its correlation with the quality[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2005, 38(4): 657-663 (in Chinese with English abstract).
- [22] 许砚杰. 稻米品质及淀粉理化特性的影响因素研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019. XU Y J. Factors affecting grain quality and starch physicochemical properties of rice[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019 (in Chinese with English abstract).

Effects of spraying wood vinegar on yield and taste quality of rice under different nitrogen levels

HU Shilong¹, CHENG Bo¹, CAO Cougui^{1,2}, YU Ming¹,
WENMU Jiading¹, SU Yafei¹, JIANG Yang¹

1. *College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Jingzhou 434023, China*

Abstract Two conventional rice cultivars with good taste quality, *indica/xian* rice Yangxizao and *japonica/geng* rice Exiang 2, were used to study the effects of wood vinegar and different nitrogen application on the yield and eating quality of rice. Under the conditions of 4 nitrogen fertilizer application levels (0, 50, 100, 200 kg/hm²), spraying and not spraying wood vinegar were set. The results showed that comparing with non-application of wood vinegar, the wood vinegar application significantly increased yield under different nitrogen application conditions. Spraying wood vinegar significantly increased the yield of conventional *japonica geng* rice Exiang 2, especially under low nitrogen level. Spraying wood vinegar under different nitrogen application conditions significantly improved the processing quality of rice, and had a significant effect on the rate of brown rice and milled rice. It was also beneficial to improve the cooking and eating quality of rice, which can significantly increase the reduction value of rice, reduce the disintegration value, and then increase the taste value of rice. The effect of vinegar on the eating quality of rice was more obvious when the wood vinegar applied under low nitrogen level.

Keywords wood vinegar; nitrogen fertilizer; high-quality rice; yield; taste quality; plant growth regulator

(责任编辑: 张志钰)