

分蘖期水氮互作对香稻香气、产量及稻米品质的影响

李艳红^{1,2},唐湘如^{1,2},潘圣刚^{1,2},杨晓娟^{1,2},陈抒婷¹,
陈春桦¹,戴显红¹,梅俊豪¹,陈益培¹

(1. 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2. 农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广东 广州 510642)

摘要:为了探明分蘖期水氮管理对香稻香气、产量及品质的影响。在大田条件下,以常规籼型香稻品种农香 18 和 Basmati 385 以及粳型香稻品种云梗优 14(Y-14)为试验材料,设置 3 个水分处理(保持水层 4~6 cm(W1);间隙湿润灌溉,低限土壤水势为 -10 kPa(W2)和轻度落干,低限土壤水势为 -20 kPa(W3))和 3 个氮肥水平处理(分蘖肥纯氮 0 kg/hm²(N1)、30 kg/hm²(N2)和 60 kg/hm²(N3))。研究了水氮互作处理对香稻糙米 2-乙酰-1-吡咯啉(2-AP)含量,产量及其构成因素和稻米品质的影响。结果表明,水氮互作显著影响香稻糙米 2-AP 含量,适当的水分胁迫(W3)和施用适量分蘖肥(N3)会显著提高糙米 2-AP 含量,农香 18、Basmati 385 和 Y-14 在 W3N3 处理下糙米香气含量均达到最高,分别达到 17.69,30.60,23.15 ng/g,W2N3 次之。除 Y-14 外,供试香稻实际产量均在 W2N3 条件下最高。分蘖期进行适当的湿润灌溉和施用适量的分蘖肥(60 kg/hm²),能够协同提高香稻产量和稻米香气。

关键词: 香稻;水氮互作;香气;产量;稻米品质

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2014)01-0159-06

Effect of Water-nitrogen Interaction at Tillering Stage on Aroma, Grain Yield and Quality of Aromatic Rice

LI Yan-hong^{1,2}, TANG Xiang-ru^{1,2}, PAN Sheng-gang^{1,2}, YANG Xiao-juan^{1,2},
CHEN Shu-ting¹, CHEN Chun-hua¹, DAI Xian-hong¹, MEI Jun-hao¹, CHEN Yi-pei¹

(1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the water-nitrogen interaction at tillering stage on aroma, grain yield and rice qualities. A field experiment was conducted with three conventional aromatic rice cultivars, Nongxiang 18 (indica), Basmati 385 (indica) and Y-14 (japonica), three water treatments (W1, well-watered, 4-6 cm; W2, intermittent irrigation, the minimum water potential was -10 kPa; W3, moderate soil drying, the minimum water potential was -20 kPa) and three nitrogen treatments: (N1, 0 kg/ha; N2, 30 kg/ha; N3, 60 kg/ha, at tillering stage) were used in this study, to evaluate the effects of the water-nitrogen interaction at tillering stage on 2-AP content in brown rice, grain yield and rice qualities. The results showed that water-nitrogen interaction had a significant influence on 2-AP content in brown rice. The treatment W3 and N3 significantly improved the 2-AP content. Under W3N3 treatment, Nongxiang 18, Basmati 385 and Y-14 achieved the highest 2-AP content, up to 17.69, 30.60, 23.15 ng/g, respectively, followed by W2N3. W2N3 treatment harvested highest grain yield than other treatments, except for Y-14. At tillering stage, wet irrigation and using the right amount of tillering nitrogen (60 kg/ha) can improve grain yield and 2-AP content in brown rice together.

Key words: Aromatic rice; Water-nitrogen interaction; Aroma; Yield; Rice quality

香稻是水稻中的珍品,其清香可口的特色长期以来得到人们青睐,但是由于其地域性强及产量低,

香稻在稻米的生产中一直未能起主导作用。目前关于香稻香气的研究众多,1983 年, Ron 等^[1]测得香

收稿日期:2013-09-01

基金项目:国家自然科学基金项目(31271646);广东省自然科学基金项目(8151064201000017);广东省农业攻关项目(2011AO20202001);广东省农业标准化项目(4100F10003)

作者简介:李艳红(1984-),女,湖北安陆人,在读博士,主要从事作物栽培与生理研究。

通讯作者:唐湘如(1964-),男,湖南宁乡人,教授,博士,博士生导师,主要从事作物栽培与生理研究。

米区别于普通稻米的香气成分为 2-乙酰-1-吡咯啉 (2-AP), 并且, 2-AP 浓度的差异是品种间香味强弱不同的起因。后来, 许多对香稻香气成分的研究表明, 不管是巴斯马蒂型香稻, 还是茉莉香型香稻, 其香气的最重要的成分为 2-AP^[2-4]。水分和氮肥单项因子与香稻香气的关系已有报道^[5-8], 田华等^[9]以桂香占为材料, 探讨了氮磷钾硅肥对产量品质的影响, 但是水氮互作对于香稻香气的影响并未见报道。本试验在前人的研究基础上, 研究水氮互作对香稻香气和产量品质的影响, 以期找到一个在保持产量品质的基础上提高稻米香气含量的栽培措施, 为香稻的高产浓香栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

供试品种为籼型常规香稻农香 18、Basmati 385 和粳型常规香稻云粳 14。试验于 2012 年晚季在华南农业大学教学试验农场进行。土壤为砂壤土, 土壤理化性质为: 有机质 25.65 g/kg, 全氮 1.36 g/kg, 碱解氮 85.47 mg/kg, 速效磷 25.14 mg/kg, 速效钾 153.20 mg/kg, pH 值 4.88。试验采用裂区设计, 设计分蘖期水分处理和氮肥水平 2 个因素, 水分处理为主区, 施氮量为副区, 重复 3 次, 每小区面积为 20 m²。

水分处理为: W1 为保持水层 (4~6 cm), 土壤水势为 0 kPa; W2 为间隙湿润灌溉, 低限土壤水势为 -10 kPa; W3 为轻度落干, 低限土壤水势为 -20 kPa。使用中国科学院南京土壤研究所生产的真空表型负压式土壤湿度计测定土壤水势。分蘖期结束后, 按照常规水分处理。氮肥处理为: 在基肥施用五氧化二磷 90 kg/hm²、氧化钾 195 kg/hm² 和纯氮 90 kg/hm² 基础上, 分蘖肥处理: N1 为纯氮 0 kg/hm²、N2 为纯氮 30 kg/hm² 和 N3 为纯氮 60 kg/hm²。

水稻于 7 月 15 日播种, 8 月 3 日移栽, 株行距 20 cm × 20 cm, 每穴 2 苗移栽, 农香 18 和 Basmati 385 于 11 月 2 日收获, Y-14 于 11 月 6 日收获。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 糙米香气含量测定 糙米的香气制备参照黄忠林等^[10]的方法, 稍作修改。仪器色谱条件、质谱条件、进样方法和香气含量标定方法参照应兴华等^[11]的方法, 有改进, 即采用日本生产的岛津 GC-MS-2010 型气相质谱联用仪和 2,4,6-三甲基嘧啶 (TMP) 内标法标定香稻糙米香气相对含量。

1.2.2 考种 收获时, 在每小区中央选取 5 m² 收割测产量, 3 次重复; 随机取 5 蔸有效穗, 测定穗粒数、结实率和千粒质量。

1.2.3 品质测定 收获的稻米风干储藏 3 个月, 用于品质性状的测定。糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、长宽比的测定参照部颁标准《NY147-88 米质测定方法》(略有修改)。谷粒直链淀粉含量和蛋白质含量用 FOSS-TECATOR 公司生产的近红外谷物分析仪 (In-fratec1241 grain analyzer) 测定。

1.2.4 数据统计与分析 采用 Excel 2003 和 Statistix 8 数据分析软件进行数据输入和统计分析。

2 结果与分析

2.1 分蘖期水氮互作对香稻糙米香气 2-AP 的影响

表 1 表明, 分蘖期水氮互作对香稻糙米香气含量有显著影响, 农香 18、Basmati 385 和 Y-14 在 W3N3 处理下糙米香气含量均最高, 分别达到 17.69, 30.60, 23.15 ng/g。水分处理对香稻糙米香气均有极显著影响, 不同水分处理下香稻品种的糙米香气变化趋势各异。N3 处理下 3 个香稻品种的糙米香气均最高, 氮肥水平极显著影响香稻的糙米香气, 且随着施氮量增加香稻糙米香气显著增加。

表 1 分蘖期水氮互作对香稻糙米香气的影响

Tab. 1 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on 2-AP content in brown rice ng/g

处理 Treatment	农香 18 Nongxiang 18	Basmati 385	Y-14
W1	13.91b	25.52a	19.80c
W2	13.98b	24.63b	21.28a
W3	15.42a	26.01a	21.07b
N1	13.07c	22.33c	19.62c
N2	14.57b	24.64b	20.66b
N3	15.66a	29.19a	21.88a
W1N1	13.94d	25.19e	18.79e
W1N2	15.14c	23.78f	20.93c
W1N3	12.65e	27.57c	19.69d
W2N1	11.78f	20.94g	19.30de
W2N2	13.48d	23.56f	21.74b
W2N3	16.66b	29.41b	22.81a
W3N1	13.50d	20.84g	20.770c
W3N2	15.09c	26.60d	19.30de
W3N3	17.69a	30.60a	23.15a
F 值 F value			
W	72.26 **	27.28 **	533.75 **
N	121.90 **	517.12 **	86.21 **
W × N	85.19 **	69.84 **	48.41 **

注: 数值后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, LSD 检验); ** . $P < 0.01$ 显著水平。表 2~7 同。

Note: Data in the table are tested with Statistix 8 by LSD ($P < 0.05$). Values with different small letters in the same line have significant difference; **. Indicate significance at the 0.01 probability level. The same as Tab. 2-7.

2.2 分蘖期水氮互作对产量及其构成因素的影响

由表 2 可以看出,农香 18 在 W2N3 处理下实际产量最高(7.90 t/hm²)。就水分处理而言,W2 处理下农香 18 的产量显著高于 W1 和 W3 处理,原因在于 W2 处理下农香 18 的有效穗数、穗粒数和结实率均最高。W3 处理下的有效穗数、穗粒数和结实率

均低于 W1 和 W2 处理。农香 18 的千粒质量随着水分的减少而逐步增大。就氮肥水平而言,农香 18 在 N3 条件下的产量最高,实际产量随着施氮量的增加而增加,归因于有效穗数随着施氮量的增加而增加;但是,农香 18 的结实率和千粒质量随着施氮量的增加而减小。

表 2 分蘖期水氮互作对农香 18 产量及其构成因素的影响

Tab. 2 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on yield and its components of Nongxiang 18

处理 Treatment	有效穗数/m ² Panicles	穗粒数 Grains per panicle	结实率/% Seed-setting	千粒质量/g 1000-grain weight	实际产量/(t/hm ²) Harvested yield
W1	256.11a	108.62ab	83.60a	26.11b	6.44b
W2	271.67a	114.45a	88.50a	26.66a	7.37a
W3	255.00a	103.14b	80.42a	26.88a	5.91b
N1	254.44a	103.20b	88.56a	26.71a	6.02b
N2	259.44a	117.52a	82.99b	26.51a	6.74a
N3	268.89a	105.50b	80.97b	26.43a	6.96a
W1N1	251.67ab	99.74de	92.23a	26.58abc	5.50e
W1N2	268.33ab	128.08a	84.43abc	26.11cd	7.37ab
W1N3	248.33ab	98.05de	74.14d	25.63d	6.47cd
W2N1	276.67ab	122.11ab	87.01abc	26.37bc	7.17abc
W2N2	268.33ab	107.64cd	87.64ab	26.86ab	7.03bc
W2N3	270.00ab	113.61bc	90.85a	26.74abc	7.90a
W3N1	235.00b	87.74e	86.44abc	27.18a	5.40e
W3N2	241.67b	116.85abc	76.91cd	26.56bc	5.83de
W3N3	288.33a	104.84cd	77.92bcd	26.90ab	6.50bcd

由表 3 可以看出,Basmati 385 实际产量在处理 W2N3 条件下最高(7.57 t/hm²)。就水分处理而言,W3 处理下 Basmati 385 的实际产量高于 W1、W2 处理,原因在于 W3 处理下的穗粒数最高。就氮肥水平而言,在 N3 处理下 Basmati 385 的实际产量高

于 N1 和 N2 处理,实际产量随着施氮量的增加而增加,原因在于 N3 水平下有效穗数高于 N1 和 N2 水平,并且 N3 水平下的产量构成因素较为合理,穗粒数、结实率和千粒质量均处于较高水平。

表 3 分蘖期水氮互作对 Basmati 385 产量及其构成因素的影响

Tab. 3 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on yield and its components of Basmati 385

处理 Treatment	有效穗数/m ² Panicles	穗粒数 Grains per panicle	结实率/% Seed-setting	千粒质量/g 1000-grain weight	实际产量/(t/hm ²) Harvested yield
W1	231.67b	120.85ab	88.96a	26.84b	6.81a
W2	255.00a	114.46b	89.10a	27.96a	7.19a
W3	227.22b	128.06a	88.96a	27.86a	7.27a
N1	240.56a	112.40c	91.48a	27.81a	6.90a
N2	229.44a	131.45a	88.17a	27.21b	7.02a
N3	243.89a	119.52b	87.37a	27.63a	7.34a
W1N1	218.33c	121.79bc	94.29a	27.42b	6.27b
W1N2	225.00bc	128.55ab	89.38ab	26.34c	7.20a
W1N3	251.67b	112.22cd	83.21b	26.76c	6.97ab
W2N1	290.00a	95.33e	88.47ab	27.94ab	6.90ab
W2N2	248.33b	141.26a	88.73ab	27.92ab	7.10ab
W2N3	226.67bc	106.80d	90.09ab	28.01a	7.57a
W3N1	213.33c	120.10bcd	91.68ab	28.06a	7.53a
W3N2	215.00c	124.54bc	86.41ab	27.38b	6.77ab
W3N3	253.33b	139.55a	88.80ab	28.12a	7.50a

由表 4 可以看出,Y-14 实际产量在处理 W3N2 条件下最高(7.27 t/hm²)。就水分处理而言,W3 处理下的 Y-14 的实际产量高于 W1 和 W2 处理,原因

在于 W3 处理下的有效穗数、结实率和千粒质量均最高,且在在水分处理下有效穗数、结实率和千粒质量均随着水分的减少而增加。W1 处理下 Y-14 的穗

粒数高于 W2、W3 处理,且随着水分的减少而减少。对于施氮处理, N3 处理下的 Y-14 实际产量高于

N1、N2 处理,原因在于 N3 水平下 Y-14 的有效穗数及穗粒数均较高。

表 4 分蘖期水氮互作对 Y-14 产量及其构成因素的影响

Tab. 4 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on yield and its components of Y-14

处理 Treatment	有效穗数/m ² Panicles	穗粒数 Grains per panicle	结实率/% Seed-setting	千粒质量/g 1000-grain weight	实际产量/(t/hm ²) Harvested yield
W1	202.78b	118.79a	87.32b	24.25c	6.08a
W2	255.56a	117.30a	88.56b	25.23b	6.50a
W3	275.56a	116.41a	92.26a	26.34a	6.61a
N1	238.89a	127.28a	89.39ab	25.73a	6.02a
N2	241.67a	110.80b	91.60a	25.37a	6.46a
N3	253.33a	114.44ab	87.15b	24.72b	6.71a
W1N1	173.33d	119.52ab	84.30d	25.00b	5.17d
W1N2	203.33cd	117.97ab	93.88ab	24.89b	5.87cd
W1N3	231.67bc	118.89ab	83.79d	22.86c	7.03ab
W2N1	271.67ab	127.85ab	87.18cd	26.10a	6.33abcd
W2N2	261.67abc	108.25b	89.87bc	24.69b	6.37abcd
W2N3	233.33bc	115.81ab	88.64c	24.89b	6.67abc
W3N1	271.67ab	134.46a	96.70a	26.09a	6.73abc
W3N2	260.00abc	106.18b	91.04bc	26.54a	7.27a
W3N3	295.00a	108.61b	89.03c	26.40a	6.13bcd

2.3 分蘖期水氮互作对香稻品质的影响

就加工品质而言,在 W3 处理下农香 18 的糙米率、精米率和整精米率均较 W2 和 W1 处理低; N3 处理整精米率显著高于 N1 和 N2 处理。就外观品质而言, W3 处理下农香 18 的垩白粒率和垩白度均

显著高于 W1 和 W2; N1 处理条件下农香 18 的垩白粒率和垩白度均显著高于 N2 和 N3 处理。就营养品质而言, W1 条件下蛋白质含量显著高于 W2 和 W3; 蛋白质含量随着施氮量增加而增加, 直链淀粉含量呈相反趋势(表 5)。

表 5 分蘖期水氮互作对农香 18 稻米品质的影响

Tab. 5 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on rice qualities of Nongxiang 18

处理 Treatment	糙米率/% BR	精米率/% MR	整精米率/% HMR	垩白粒率/% CR	垩白度 Chalkiness	长宽比 L/W	蛋白质/% PC	直链淀粉/% AC
W1	77.75ab	66.78a	56.21a	3.22c	0.08c	3.60a	10.06a	17.98a
W2	77.89a	66.38a	56.32a	5.67b	0.20b	3.77a	9.67b	18.73a
W3	77.27b	64.56b	50.92b	6.89a	0.33a	3.24b	8.53c	19.32a
N1	76.96b	65.92a	53.33b	7.11a	0.24a	3.59a	9.28b	19.32a
N2	78.25a	65.46a	54.09b	4.56b	0.17b	3.45a	9.34b	18.88ab
N3	77.70a	66.34a	56.02a	4.11b	0.19b	3.57a	9.63a	17.83b
W1N1	77.08cde	67.75a	51.29cd	3.33c	0.03fg	3.73ab	9.63c	19.6a
W1N2	79.21a	66.46ab	58.69a	4.33c	0.17e	3.41bcd	10.13b	16.47bc
W1N3	76.95de	66.14ab	58.64a	2.00d	0.02g	3.67abc	10.40a	17.87abc
W2N1	77.71bcd	65.69bc	54.81b	8.33a	0.30c	3.76ab	9.70c	19.37ab
W2N2	77.77bcd	67.83a	53.91bc	4.67c	0.25d	3.86a	9.27d	20.97a
W2N3	78.20b	65.62bc	60.23a	4.00c	0.04fg	3.69abc	10.03b	15.87c
W3N1	76.10e	64.31c	53.89bc	9.67a	0.39b	3.27d	8.50e	19abc
W3N2	77.76bcd	62.09d	49.68d	4.67c	0.09f	3.08d	8.63e	19.20ab
W2N3	77.95bc	67.27ab	49.19d	6.33b	0.51a	3.36cd	8.47e	19.77a

就加工品质而言,在 W2 处理下的 Basmati 385 的糙米率和整精米率最高, W3 处理下的精米率高于 W1 和 W2 处理; N3 处理下的整精米率高于 N1 和 N2 处理。对外观品质而言, W3 处理下的垩白粒率和垩白度显著高于 W1 和 W2 处理; 在 N1 处理下的垩白粒率显著高于 N2 和 N3 处理。

就营养品质而言, W1 处理下 Basmati 385 的蛋白质含量显著高于 W2 和 W3 处理; W3 处理下 Basmati 385 的直链淀粉含量高于 W1 和 W2 处理; 不同施氮量下蛋白质含量随着施氮量增加而增加; N1 处理下 Basmati 385 的直链淀粉含量最高(表 6)。

表 6 分蘖期水氮互作对 Basmati 385 稻米品质的影响

Tab.6 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on rice qualities of Basmati 385

处理 Treatment	糙米率/% BR	精米率/% MR	整精米率/% HMR	垩白粒率/% CR	垩白度 Chalkiness	长宽比 L/W	蛋白质/% PC	直链淀粉/% AC
W1	79.00ab	66.89b	49.47a	1.67b	0.37c	3.54a	10.43a	17.72b
W2	79.72a	68.45ab	51.04a	1.44b	0.43b	3.56a	9.26b	18.60ab
W3	78.82b	69.24a	50.01a	2.56a	0.74a	3.54a	9.10b	19.19a
N1	79.60a	69.32a	44.74b	2.44a	0.49a	3.63a	9.23c	20.13a
N2	79.61a	67.09b	52.51a	1.78b	0.55a	3.53b	9.61b	17.34b
N3	78.34b	68.17ab	53.27a	1.44c	0.50a	3.48b	9.94a	18.03b
W1N1	79.18abc	67.64ab	44.79c	2.00b	0.22e	3.5bcd	10.10b	21.30a
W1N2	80.30a	65.94b	52.64ab	1.00c	0.15e	3.52bcd	10.33b	15.17e
W1N3	77.53d	67.08ab	50.97b	2.00b	0.74b	3.59abc	10.87a	16.70de
W2N1	80.17ab	70.16a	44.71c	2.00b	0.57bc	3.73a	9.03e	18.70bcd
W2N2	80.10ab	67.72ab	53.36ab	1.33c	0.30de	3.53bcd	9.47cd	17.40cde
W2N3	78.90bc	67.47ab	55.04a	1.00c	0.43cd	3.43cd	9.27de	19.70abc
W3N1	79.45abc	70.16a	44.71c	3.33a	0.68b	3.67ab	8.57f	20.40ab
W3N2	78.42cd	67.60ab	51.52ab	3.00a	1.20a	3.55abcd	9.03e	19.47abc
W2N3	78.60cd	69.95a	53.79ab	1.33c	0.34de	3.41d	9.70c	17.70cd

就加工品质而言,在 W3 处理下 Y-14 的整精米率显著高于 W1 和 W2 处理;N2 处理下的糙米率、精米率和整精米率均高于 N1 和 N3 处理。就外观品质而言,W3 处理下 Y-14 的垩白粒率和垩白度高于 W1 和 W2 处理;在 N2 处理下 Y-14 的垩白粒率高于 N1 和 N3 处理,在 N1 处理下垩白度高于 N2 和 N3 处理。就营养品质而言,W1 处理下 Y-14 的蛋白质含量显著高于 W2 和 W3 处理;W2 处理下直链淀粉含量最高。Y-14 的蛋白质含量随着施氮量增加而增加,在 N2 处理下直链淀粉含量最高(表 7)。

表 7 分蘖期水氮互作对 Y-14 稻米品质的影响

Tab.7 Effects of water-nitrogen interaction at tillering stage on rice qualities of Y-14

处理 Treatment	糙米率/% BR	精米率/% MR	整精米率/% HMR	垩白粒率/% CR	垩白度 Chalkiness	长宽比 L/W	蛋白质/% PC	直链淀粉/% AC
W1	79.67a	69.13a	52.18c	4.56b	0.87b	1.78ab	9.99a	19.34b
W2	78.87a	69.44a	53.52b	5.44b	1.14ab	1.79a	9.32b	20.64a
W3	80.35a	70.21a	59.60a	8.0a	1.60a	1.76b	8.56c	18.34c
N1	80.03ab	69.64a	54.08b	6.89a	1.47a	1.75a	8.96b	17.99b
N2	80.57a	70.60a	57.91a	7.11a	1.35a	1.80a	9.41a	20.33a
N3	78.28b	68.54a	53.31b	4.00b	0.80b	1.78a	9.50a	20.01a
W1N1	80.25a	69.88ab	53.47c	5.33bc	1.05ab	1.76abc	9.63b	17.9bc
W1N2	79.79ab	69.12ab	53.20c	5.33bc	0.86b	1.79abc	10.07a	20.00ab
W1N3	78.97ab	68.40ab	49.88d	3.00d	0.71b	1.78abc	10.27a	20.13ab
W2N1	80.66a	69.91ab	51.50cd	5.00c	1.34ab	1.72bc	9.13c	20.07ab
W2N2	80.29a	71.79a	56.12b	6.67b	1.19ab	1.81ab	9.40b	21.87a
W2N3	75.65b	66.61b	52.93c	4.67cd	0.89b	1.83a	9.43b	20.00ab
W3N1	79.2ab	69.11ab	57.25b	10.33a	2.02a	1.76abc	8.10e	16.00c
W3N2	81.62a	70.90ab	64.41a	9.33a	1.99a	1.79abc	8.77d	19.13b
W2N3	80.24a	70.61ab	57.13b	4.33cd	0.79b	1.72c	8.80d	19.90ab

3 讨论与结论

香稻香气的形成受环境因子影响较大,特别是栽培条件。王培等^[5]发现,适当的分蘖期节水灌溉可有效提高香稻香气成分,田卡等^[6]也发现,灌浆成熟期浅水灌溉能够显著提高 2-AP 含量,说明水分在香稻香气的形成过程中起到关键作用,本试验中 W3 为适当的少水处理,研究同样发现,在分蘖期进行少水处理会提高香稻 2-AP 含量。孙树侠等^[7]采用 4 种不同的判断方法说明,在肥力较好(全氮含

量及有效氮含量较高)的土壤中种出的香稻,其稻米具有较佳的风味品质(香气)。2002 年,Yoshihashi 等^[8]研究发现,适当地增施氮肥能够增加香稻中香气,这是因为氮肥量的增加导致 L-脯氨酸含量上升,并且通过示踪试验发现 L-脯氨酸是 2-AP 形成过程中的氮源^[12]。本试验在分蘖期通过增施氮肥的试验,也同样发现在 N3 条件下的所有品种的 2-AP 含量均显著高于 N1 和 N2 条件,并且均为 N3 > N2 > N1 的趋势。水氮互作条件下,香气的含量也有差异,供试香稻均为在 W3N3 条件下,香气含量最

高。并且香气含量存在品种差异,Basmati 385 的香气含量高于其他 2 个品种,造成这一现象的原因还有待后续的研究。

有关土壤水分与氮素对作物产量的影响这方面的研究较多,适当的水分胁迫和中等肥力具有较好的水氮耦合优势,达到“以肥补水、以水调肥”,从而使产量提高^[13-17]。水稻在分蘖期以营养器官生长为中心,是决定穗数的关键时期,也是为丰产奠定基础的时期。本试验中香稻的实际产量也与水氮处理及其互作效应相关,在 W2(相比于传统淹灌水分较少)与 N3 条件下产量构成因素均处于较高的水平,实际产量也较高。互作条件下,籼型香稻品种农香 18、Basmati 385 和 Y-14 在 W2N3 处理下实际产量均达较高水平,所得结果与前人的研究基本一致^[18]。

氮肥和水分均显著影响稻米垩白粒率和垩白度,在分蘖期水分和氮肥充足的条件下均会降低稻米的垩白粒率和垩白度。这与贺帆等^[19]实时实地氮肥管理发现,随着氮肥用量的增加,垩白粒率和垩白度降低的结论是一致的。梗稻 Y-14 的垩白度、垩白粒率远高于籼稻农香 18 和 Basmati 385。随着施氮量的增加稻米的蛋白质含量会有提高的趋势,这与王伟妮等^[20]的研究结果一致。

农香 18、Basmati 385 和 Y-14 在 W3N3 处理下糙米香气含量均达到最高,W2N3 次之。供试香稻实际产量均在 W2N3 条件下较高。分蘖期进行适当的湿润灌溉和施用适量的分蘖肥(60 kg/hm²),能够协同提高香稻产量和稻米香气。

参考文献:

- [1] Ron C, Buttery. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1983, 31(4): 823-826.
- [2] Cordeiro G M, Christopher M J, Henry R J, et al. Identification of microsatellite markers for fragrance in rice by analysis of the rice genome sequence[J]. Molecular Breeding, 2002, 9(4): 245-250.
- [3] Wongpornchai S, Dumri K, Jongkaewwattana S. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice(*Oryza sativa* L.) cv. KhaoDawk Mali 105[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 407-414.
- [4] Jezussek M, Juliano B O, Schieberle P. Comparison of key aroma compounds in cooked brown rice based on aroma extract dilution analyses[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(5): 1101-1105.
- [5] 王 培,肖立中,唐湘如,等. 分蘖期水分对香稻香气及生理特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 103-105.
- [6] 田 卡,唐湘如,段美洋,等. 灌浆成熟期水分对香稻香气及生理特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 91-93.
- [7] 孙树侠,刘书城. 水稻的香味及 N、Zn 肥对香味效应的研究[J]. 作物学报, 1991, 17(6): 430-435.
- [8] Yoshihashi T, Kabaki N, Nguyen T T, et al. Formation of flavor compound in aromatic rice and its fluctuations with drought stress[J]. Research Highlights of Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 2002, 2003: 32-33.
- [9] 田 华,刘 博,段美洋,等. 氮磷钾硅肥对香稻桂香占产量及品质的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(2): 190-195.
- [10] 黄忠林,唐湘如,王玉良,等. 增香栽培对香稻香气和产量的影响及其相关生理机制[J]. 中国农业科学, 2012(6): 1054-1065.
- [11] 应兴华,徐 霞,陈铭学,等. 气相色谱-质谱技术分析香稻特征化合物 2-乙酰基-1-吡咯啉[J]. 色谱, 2010, 28(8): 782-785.
- [12] Tadashi Y, Nguyen T, Hideo I. Precursors of 2-Acetyl-1-pyrroline, a potent flavor compound of an aromatic rice variety[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 2001-2004.
- [13] 王唯道,刘小军,田永超,等. 不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7053-7060.
- [14] Yongjian S, Jun M, Yuanyuan S, et al. The effects of different water and nitrogen managements on yield and nitrogen use efficiency in hybrid rice of China[J]. Field Crops Research, 2012, 127: 85-98.
- [15] 潘圣刚,曹凑贵,蔡明历,等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 283-289.
- [16] 李树杏,郭 慧,李 敏,等. 幼穗形成期水分胁迫后复火对水稻叶片光合特性及物质生产的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(5): 133-137.
- [17] 陈晓远,凌木生,高志红. 水分胁迫对水稻叶片可溶性糖和游离脯氨酸含量的影响[J]. 河南农业科学, 2006(12): 26-30.
- [18] 罗炳顺,潘圣刚,林青山,等. 灌溉模式对华南广适型超级稻产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(6): 208-212.
- [19] 贺 帆,黄见良,崔克辉,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 123-132.
- [20] 王伟妮,鲁剑巍,何予卿,等. 氮、磷、钾肥对水稻产量、品质及养分吸收利用的影响[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(6): 645-653.