

# 结实期水分供应对寒地水稻品质的影响

吕艳东<sup>1</sup>, 郭晓红<sup>1</sup>, 殷大伟<sup>2</sup>, 朱红敏<sup>3</sup>, 李晓蕾<sup>1</sup>,  
赵洋<sup>1</sup>, 蔡永盛<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1</sup>, 王秋菊<sup>4</sup>, 郑桂萍<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 沈阳农业大学 水稻研究所, 辽宁 沈阳 110161;  
3. 黑龙江省大西江农场, 黑龙江 嫩江 161448; 4. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**以垦鉴稻 5 号和垦稻 12 号为材料, 采用负压式土壤湿度计监测土壤水势, 通过防雨棚内的盆栽控水试验, 研究了结实期水分供应对寒地水稻品质的影响。结果表明, 结实期进行  $-8 \sim -10$  kPa 的间歇控水处理, 有利于垦鉴稻 5 号整精米率的提高和垩白率、垩白度的降低, 不利于垦稻 12 号整精米率的提高和垩白率、垩白度的降低, 使 2 品种各粒位直链淀粉含量、脂肪含量和蛋白质含量增加, 米饭食味评分值降低。结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa 和  $-28 \sim -30$  kPa 的持续控水处理, 有利于垦鉴稻 5 号整精米率的提高, 不利于垦稻 12 号整精米率的提高和垩白率、垩白度的降低, 使 2 品种各粒位的长/宽, 各粒位的蛋白质含量增加, 米饭食味评分值降低。

**关键词:** 寒地水稻; 水分供应; 品质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0191-08

中图分类号: S511.06

## Effects of Water Supply on Rice Quality During Grain Filling Stage in Cold Region

LU Yan-dong<sup>1</sup>, GUO Xiao-hong<sup>1</sup>, YIN Da-wei<sup>2</sup>, ZHU Hong-min<sup>3</sup>, LI Xiao-lei<sup>1</sup>,  
ZHAO Yang<sup>1</sup>, CAI Yong-sheng<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>1</sup>, WANG Qiu-ju<sup>4</sup>, ZHENG Gui-ping<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. Rice Institute, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;  
3. Daxijiang Farm of Heilongjiang Province, Nenjiang, Heilongjiang 161448, China; 4. Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

**Abstract:** By selecting two cultivars of Kenjiandao 5(K<sub>5</sub>) and Kendao 12(K<sub>12</sub>) as materials and measuring soil water potential (SWP) by soil moisture tensiometer, the effects of water supply on rice quality in grain filling stage were studied using potted planting method within a rainproof chamber. The primary results indicated that in the intermittent irrigation treatment with the SWP of  $-8 \sim -10$  kPa in grain filling stage, the head rice rate for K<sub>5</sub> was increased and its chalkiness rate and chalkiness degree was decreased, while the head rice rate for K<sub>12</sub> was decreased and its chalkiness rate and chalkiness degree were increased. The amylose content, fat content and protein content of grains at each grain position of two varieties were enhanced and the rice taste values for the two varieties were reduced. In the unremitting irrigation treatment with the SWPs of  $-18 \sim -20$  kPa and  $-28 \sim -30$  kPa before the filling stage, the head rice rate for K<sub>5</sub> was increased; the head rice rate for K<sub>12</sub> was increased and its chalkiness rate and chalkiness degree were decreased; the length/width and protein content at each grain position of the two varieties were increased; and the rice taste values for the two varieties were reduced.

**Keywords:** rice in cold region; water supply; quality

水是作物生长的基本条件, 水分的多少及管理方式, 不仅影响着作物的产量, 而且也影响作物的品

质<sup>[1-3]</sup>。随着全球水资源的日益匮乏和旱灾的日趋加重, 水资源的短缺成为制约农业发展的重要因素。全

收稿日期: 2011-10-24

修回日期: 2011-11-29

资助项目: 国家科技支撑计划项目“东北平原北部(黑龙江)春玉米水稻持续丰产高效技术集成创新与示范”(2011BAD16B11); 黑龙江省科技攻关重点项目“黑龙江省水稻大面积均衡优质高产栽培综合配套技术体系研究”(GA10B102); 黑龙江省省长基金项目“水稻种质资源耐旱筛选及新种质的创制”(2009HSJ-A-2)

作者简介: 吕艳东(1978—), 男(汉族), 黑龙江省肇州县人, 副研究员, 主要从事水稻节水栽培研究。E-mail: luyandong336@sohu.com。

通信作者: 郑桂萍(1960—), 女(汉族), 黑龙江省密山市人, 教授, 博士, 主要从事水稻生理生态研究。E-mail: dqzgp@163.com。

世界由水分亏缺造成植物生长缓慢和作物减产的损失超过了其他逆境损失的总和<sup>[4]</sup>。水稻生产作为中国主要的粮食作物生产,已经受到日益严重的干旱缺水等自然条件影响。稻米品质是遗传因素和环境条件综合作用的结果<sup>[5]</sup>,其中气温是灌浆结实期间影响稻米品质的主要环境因素<sup>[6]</sup>,其次是土壤水分。近年来,人们就土壤水分对水稻品质的影响进行了大量的研究<sup>[7-11]</sup>,但因土壤水分控制方法和处理时期的不同,使结果不尽一致<sup>[12-15]</sup>。本试验在灌浆结实期通过严格控制土壤水分,研究水分供应对寒地水稻品质的影响,为实现寒地水稻的优质高产高效栽培提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料及设计

试验于 2009 年在黑龙江八一农垦大学盆栽场进行,在防雨棚中人工严格控水,晴天时打开防雨棚。供试土壤为草甸土,土壤的基础条件碱解氮 200.00 mg/kg,有效磷 15.22 mg/kg,速效钾 170.20 mg/kg,有机质 2.51%,pH 值 7.61。

供试品种垦鉴稻 5 号(丰产性较好,品质一般)和垦稻 12 号(丰产性一般,品质较好),主茎均为 12 片叶。4 月 10 日浸种,4 月 19 日播种(水 9 L/m<sup>2</sup>,可溶性育苗专用肥 60 g/m<sup>2</sup>,移栽灵 2 mL/m<sup>2</sup>,三者混匀喷施苗盘),4 月 26 日出苗,秧田管理正常进行,5 月 20 日进行移栽,每盆 3 穴,每穴 3 苗,选叶龄均为 3.1~3.5 的秧苗,均匀分布。盆栽基肥氮肥为尿素,用量 0.76 g/盆(以纯 N 计);磷肥为磷酸二铵,用量 0.49 g/盆(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计);钾肥为硫酸钾,用量 1.16 g/盆(以 K<sub>2</sub>O 计),5 月 30 日施分蘖肥尿素 0.27 g/盆(以纯 N 计)。7 月 20 日施穗肥尿素 0.06 g/盆(以纯 N 计),硫酸钾 0.17 g/盆(以 K<sub>2</sub>O 计)。

采用盆栽人工控制水分方法,盆钵直径 28 cm,高 30 cm,每盆装过筛混匀土 10 kg,移栽前模拟水耙地搅浆,沉降几日后插秧。用中国科学院南京土壤研究所生产的负压式土壤湿度计监测土壤水势。开始控水时安装负压式土壤湿度计,安装时陶头中部离土表 10 cm,在土表湿度计管的周围用泥将缝隙塞严,以免影响试验效果。每处理用 4 支土壤湿度计监测土壤水势,每日 8:00,10:00,12:00,14:00 和 16:00,5 次读表,根据处理要求及时补水。(1) 处理 1。插秧后浅水层 3~5 cm,至出穗,出穗后自然落干至-8~-10 kPa;然后覆水至 3~5 cm,再自然落干至-8~-10 kPa,如此反复直至成熟,垦鉴稻 5 号和垦稻 12 号的代号分别为 J<sub>1</sub> 和 D<sub>1</sub>;(2) 处理 2。插秧后浅水层 3~5 cm,至出穗,出穗后自然落干至-18~

-20 kPa,持续控水-18~-20 kPa 直至成熟,垦鉴稻 5 号和垦稻 12 号的代号分别为 J<sub>2</sub> 和 D<sub>2</sub>;(3) 处理 3。插秧后浅水层 3~5 cm,至出穗,出穗后自然落干至-28~-30 kPa,持续控水-28~-30 kPa 直至成熟,垦鉴稻 5 号和垦稻 12 号的代号分别为 J<sub>3</sub> 和 D<sub>3</sub>。(4) 对照。插秧后至蜡熟末期浅水层 3~5 cm,垦鉴稻 5 号和垦稻 12 号的代号分别为 J<sub>CK</sub> 和 D<sub>CK</sub>。生育期间人工除草。供试盆数为 2 品种各处理各 35 盆,随机排列。9 月末收获。

### 1.2 测试内容与方 法

根据每穗上的一次枝梗数,将每个单穗分为上、中、下 3 部分,如果一次枝梗数能被 3 整除,上、中、下部平均分配,如果不能被 3 整除,下部优先分配,其次中部分配。将每穗分成优势粒(上部一次枝梗上的粒)、中势粒(枝梗上除了优势粒和劣势粒的所有粒)和劣势粒(下部二次枝梗上的粒)3 部分。风干 2~3 个月后,按《中国农业标准汇编—粮油作物卷》的标准测定品质。

1.2.1 加工品质的测定 用 FC-2K 型实验砬谷机(YAMAMOTO,离心式)加工成糙米,用日本公司生产的 VP-32 型实验碾米机(YAMAMOTO,直立式)加工精米。

1.2.2 外观品质的测定 用日本静冈机械株式会社生产的 ES-1000 便携式品质分析仪测定不同粒位糙米及精米(沈阳农业大学水稻研究所测定)。糙米粒长、糙米粒宽、精米长、精米宽、垩白率、垩白度等。

1.2.3 理化品质的测定 用德国 BRUKER 公司生产的 VECTOR 22/N 型近红外光谱仪测定不同粒位糙米的直链淀粉含量、脂肪含量、蛋白质含量(吉林省农科院水稻所测定)。凯式定氮法测定蛋白组分。采用 AACC 61-02 快速黏度测试方法,用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 RVA-Super3 仪测定 RVA 黏滞谱(黑龙江省谷物分析中心测定),并用 TCW(thermal cycle for windows)配套软件分析,测定指标有最高黏度、热浆黏度、冷胶黏度、消减值等

1.2.4 食味品质的测定 食味品质用日本佐竹公司(SATAKE)生产的米饭食味计(STA1A)进行测定(黑龙江省谷物分析中心测定)。本试验以黑龙江省佳木斯市生产的空育 131(感官食味综合评分 75 分)为对照。

## 2 结果与分析

### 2.1 结实期水分供应对稻谷碾磨品质的影响

结实期进行不同强度控水,碾磨品质如表 1 所示。与对照相比,2 品种各处理各粒位的糙米率均降

低。与 J<sub>CK</sub> 相比, J<sub>1</sub> 优势粒部分的精米率增加, 中、劣势粒的精米率降低; J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> 优、中势粒部分的精米率降低, 劣势粒部分的精米率增加。与 J<sub>CK</sub> 相比, 除了 J<sub>1</sub> 劣势粒部分的整精米率降低外, 其他各处理各粒位的整精米率均增加。与 D<sub>CK</sub> 相比, 除了 D<sub>1</sub> 劣势粒部分的精米率增加外, 其他各处理各粒位的精米率均降

低; 除了 D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 优势粒部分的整精米率均增加外, 其他各处理各粒位的整精米率均降低。单从最有经济意义的整精米率来考虑, 我们可以得出以下结论: 结实期进行不同强度控水, 有利于提高垦鉴稻 5 号的整精米率, 不利于提高垦稻 12 号的整精米率, 这可能与品种特性有关。

表 1 2 品种各处理不同粒位的碾米品质比较

%

处理	BRR	±△	MRR	±△	HRR	±△	
SG	J <sub>CK</sub>	82.86	0.00	75.25	0.00	66.35	0.00
	J <sub>1</sub>	82.83	-0.03	75.66	0.54	69.02	4.02
	J <sub>2</sub>	81.72	-1.38	74.18	-1.41	72.26	8.90
	J <sub>3</sub>	82.66	-0.23	74.91	-0.45	73.04	10.08
MG	J <sub>CK</sub>	81.77	0.00	71.82	0.00	66.48	0.00
	J <sub>1</sub>	81.04	-0.89	71.53	-0.41	67.04	0.85
	J <sub>2</sub>	79.81	-2.40	71.13	-0.97	69.00	3.79
	J <sub>3</sub>	79.95	-2.22	70.34	-2.06	68.97	3.75
IG	J <sub>CK</sub>	76.32	0.00	63.91	0.00	59.42	0.00
	J <sub>1</sub>	73.93	-3.13	62.55	-2.12	58.54	-1.48
	J <sub>2</sub>	74.50	-2.38	65.85	3.04	63.99	7.70
	J <sub>3</sub>	74.90	-1.86	65.30	2.18	63.39	6.70
SG	D <sub>CK</sub>	80.29	0.00	72.87	0.00	60.98	0.00
	D <sub>1</sub>	80.05	-0.30	72.17	-0.97	53.74	-11.87
	D <sub>2</sub>	78.92	-1.71	71.11	-2.42	69.14	13.38
	D <sub>3</sub>	78.30	-2.47	70.65	-3.05	69.04	13.21
MG	D <sub>CK</sub>	80.56	0.00	72.83	0.00	67.20	0.00
	D <sub>1</sub>	80.55	-0.01	72.45	-0.53	62.35	-7.22
	D <sub>2</sub>	76.02	-5.63	66.74	-8.36	64.20	-4.47
	D <sub>3</sub>	75.29	-6.54	65.75	-9.73	62.92	-6.37
IG	D <sub>CK</sub>	77.35	0.00	67.58	0.00	62.16	0.00
	D <sub>1</sub>	77.29	-0.08	67.61	0.04	60.03	-3.42
	D <sub>2</sub>	67.26	-13.04	57.89	-14.33	56.47	-9.14
	D <sub>3</sub>	67.28	-13.02	56.91	-15.79	54.44	-12.41

注: SG 为优势粒; MG 为中势粒; IG 为劣势粒; BRR 为糙米率; MRR 为精米率; HRR 为整精米率。下同。

2.2 结实期水分供应对稻米外观品质的影响

结实前进行不同强度控水, 糙米粒长、粒宽的变化比较如表 2。与 J<sub>CK</sub> 相比, 3 种处理优、劣势粒的粒长无变化, 中势粒的粒长都增加; 与 J<sub>CK</sub> 相比, J<sub>1</sub> 优、中、劣势粒的粒宽无变化, J<sub>2</sub> 和 J<sub>3</sub> 优、中、劣势粒的粒宽都减小。

与 D<sub>CK</sub> 相比, D<sub>1</sub> 优、中、劣势粒的粒长减小, D<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub> 优、中、劣势粒的粒长增加; 与 D<sub>CK</sub> 相比, 除了 D<sub>1</sub> 优势粒的粒宽无变化外, 其他各处理各粒位的粒宽都减小。2 品种表现出了一致的规律: 结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的控水能够减小 2 品种各粒位糙米的粒宽。

2 品种不同粒位糙米的长/宽, 对控水的反应不同(表 2)。与 J<sub>CK</sub> 相比, 除了 J<sub>1</sub> 优、劣势粒的长/宽无变

化外, 其他各处理各粒位的长/宽均增加。与 D<sub>CK</sub> 相比, 除了 D<sub>1</sub> 优势粒的长/宽减小外, 其他各处理各粒位的长/宽均增加。由此可以得出以下结论: 结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理会使 2 品种各粒位的长/宽增加。

结实期进行不同程度的控水处理, 垩白率、垩白度的变化如表 3 所示, 2 品种不同粒位各处理垩白率、垩白度均为劣势粒 > 中势粒 > 优势粒。结实期进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理降低了垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的垩白率和垩白度; 结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理, 增加了垦鉴稻 5 号优、中势粒的垩白率和垩白度, 降低了垦鉴稻 5 号劣势粒的垩白率和垩白度。3 种控水处理使垦稻 12 号各粒位的垩白率和垩白度均增加。我们可

以得出以下结论:结实期进行-8~-10 kPa 的间歇控水处理,有利于垦鉴稻 5 号垩白率和垩白度的降

低;结实期进行不同强度的控水,不利于垦稻 12 号垩白率和垩白度的降低。

表 2 2 品种不同粒位各处理粒长、粒宽的比较

mm

处理	GLBR			GWBR			L/W		
	SG	MG	IG	SG	MG	IG	SG	MG	IG
J <sub>CK</sub>	4.7	4.6	4.6	2.9	2.8	2.7	1.62	1.64	1.70
J <sub>1</sub>	4.7	4.7	4.6	2.9	2.8	2.7	1.62	1.68	1.70
J <sub>2</sub>	4.7	4.7	4.6	2.7	2.7	2.6	1.74	1.74	1.77
J <sub>3</sub>	4.7	4.7	4.6	2.7	2.6	2.6	1.74	1.81	1.77
D <sub>CK</sub>	4.8	4.7	4.9	2.5	2.6	2.6	1.92	1.81	1.88
D <sub>1</sub>	4.7	4.6	4.8	2.5	2.5	2.5	1.88	1.84	1.92
D <sub>2</sub>	4.9	5.1	5.0	2.4	2.5	2.5	2.04	2.04	2.00
D <sub>3</sub>	4.9	5.1	5.0	2.4	2.5	2.4	2.04	2.04	2.08

注:GLBR 为糙米粒长;GWBR 为糙米粒宽;L/W 为长宽比。

表 3 2 品种各处理不同粒位垩白率及垩白度 %

处理	垩白率		垩白度		
	数值	±△	数值	±△	
SG	J <sub>CK</sub>	1.5	0.00	0.9	0.00
	J <sub>1</sub>	1.3	-13.33	0.8	-11.11
	J <sub>2</sub>	5.0	233.33	3.1	244.44
	J <sub>3</sub>	8.1	440.00	4.6	411.11
MG	J <sub>CK</sub>	10.0	0.00	5.5	0.00
	J <sub>1</sub>	6.8	-32.00	3.6	-34.55
	J <sub>2</sub>	10.3	3.00	5.9	7.27
	J <sub>3</sub>	11.3	13.00	6.9	25.45
IG	J <sub>CK</sub>	17.6	0.00	10.8	0.00
	J <sub>1</sub>	14.3	-18.75	8.6	-20.37
	J <sub>2</sub>	11.6	-34.09	7.1	-34.26
	J <sub>3</sub>	11.4	-35.23	7.0	-35.19
SG	D <sub>CK</sub>	1.3	0.00	0.8	0.00
	D <sub>1</sub>	1.5	15.38	0.9	12.50
	D <sub>2</sub>	4.3	230.77	2.7	237.50
	D <sub>3</sub>	2.1	61.54	1.4	75.00
MG	D <sub>CK</sub>	4.3	0.00	2.4	0.00
	D <sub>1</sub>	7.9	83.72	4.6	91.67
	D <sub>2</sub>	9.2	113.95	5.9	145.83
	D <sub>3</sub>	7.4	72.09	4.7	95.83
IG	D <sub>CK</sub>	11.5	0.00	6.4	0.00
	D <sub>1</sub>	15.0	30.43	8.6	34.38
	D <sub>2</sub>	11.8	2.61	7.3	14.06
	D <sub>3</sub>	11.7	1.74	7.2	12.50

### 2.3 结实期水分供应对水稻理化品质的影响

不同处理间直链淀粉、脂肪和蛋白质含量的变化如表 4 所示。结实期进行-8~-10 kPa 的间歇控水处理,使垦鉴稻 5 号各粒位直链淀粉含量和脂肪含量增加,结实期进行-18~-20 kPa 和-28~-30 kPa 的持续控水处理,使垦鉴稻 5 号各粒位直链淀粉含量

和脂肪含量降低;3 种控水处理使垦稻 12 号各粒位直链淀粉含量降低、脂肪含量增加。除了 J<sub>CK</sub> 的中势粒蛋白质含量低于 7% 外,2 品种其他各粒位各处理的蛋白质含量都高于 7%;结实期进行本试验的 3 种控水处理提高了 2 品种各粒位的蛋白质含量。

结实期进行不同程度的控水处理,降低了垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的白蛋白含量,其中 J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> 优势粒的白蛋白含量分别低于 J<sub>CK</sub> 18.85%, 18.03% 和 0.44%, 中势粒白蛋白含量分别低于 J<sub>CK</sub> 6.11%, 16.03% 和 28.25%, 劣势粒的白蛋白含量分别低于 J<sub>CK</sub> 30.07%, 29.41% 和 16.34%。结实期进行-8~-10 kPa 的间歇控水处理,降低了垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的球蛋白含量,分别低于 J<sub>CK</sub> 8.69%, 2.01% 和 0.63%;结实期进行-18~-20 kPa 和-28~-30 kPa 的持续控水处理,增加了垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的球蛋白含量,其中 J<sub>2</sub> 和 J<sub>3</sub> 优势粒球蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 16.06% 和 16.67%, 中势粒球蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 30.77% 和 23.08%, 劣势粒的球蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 21.64% 和 26.12%。结实期进行不同程度的控水处理,增加了垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的谷蛋白和醇溶蛋白含量,其中 J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> 优势粒的谷蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 4.64%, 27.82% 和 31.80%, 中势粒谷蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 4.52%, 30.32% 和 32.69%, 劣势粒的谷蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 3.21%, 25.51% 和 25.73%, 可以看出随着控水强度的增加,优、中势粒谷蛋白含量随之增加;J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> 优势粒的醇溶蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 16.76%, 12.23% 和 12.23%, 中势粒醇溶蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 27.06%, 27.31% 和 26.31%, 劣势粒的醇溶蛋白含量分别高于 J<sub>CK</sub> 40.94%, 27.85% 和 26.58% (图 1)。上述结果说明,结实期进行不同程度的控水处理抑制了垦鉴稻 5

号各粒位白蛋白的合成, 促进了该品种优、中、劣势粒谷蛋白和醇溶蛋白的合成; 结实期进行 -8 ~ -10 kPa 的间歇控水处理, 抑制了垦鉴稻 5 号各粒位

球蛋白的合成, 结实期进行 -18 ~ -20 kPa 和 -28 ~ -30 kPa 的持续控水处理, 促进了垦鉴稻 5 号各粒位球蛋白的合成。

表 4 2 品种各处理不同粒位直链淀粉及脂肪含量

%

处理	AC	±△	FC	±△	PC	±△
SG	J <sub>CK</sub>	17.313	0.00	1.941 3	0.00	7.661 4
	J <sub>1</sub>	17.421	0.62	1.999 5	3.00	7.667 1
	J <sub>2</sub>	14.401	-16.82	1.882 2	-3.04	7.858 4
	J <sub>3</sub>	14.074	-18.71	1.866 2	-3.87	7.921 4
MG	J <sub>CK</sub>	16.769	0.00	1.930 5	0.00	6.953 2
	J <sub>1</sub>	16.823	0.32	1.938 9	0.44	7.461 0
	J <sub>2</sub>	13.585	-18.99	1.766 8	-8.48	8.338 4
	J <sub>3</sub>	14.239	-15.09	1.773 0	-8.16	8.004 7
IG	J <sub>CK</sub>	15.91	0.00	1.948 2	0.00	7.232 4
	J <sub>1</sub>	15.953	0.27	1.953 6	0.28	7.388 7
	J <sub>2</sub>	13.126	-17.50	1.669 0	-14.33	8.000 4
	J <sub>3</sub>	14.132	-11.18	1.741 2	-10.63	7.995 7
SG	D <sub>CK</sub>	16.205	0.00	1.899 0	0.00	7.866 2
	D <sub>1</sub>	15.790	-2.56	2.114 6	11.35	7.931 2
	D <sub>2</sub>	13.095	-19.19	2.029 8	6.89	8.504 2
	D <sub>3</sub>	12.651	-21.93	2.132 3	12.29	8.894 2
MG	D <sub>CK</sub>	16.406	0.00	1.854 5	0.00	7.490 2
	D <sub>1</sub>	15.311	-6.67	1.993 5	7.50	7.939 8
	D <sub>2</sub>	11.947	-27.18	2.013 0	8.55	8.894 1
	D <sub>3</sub>	11.845	-27.80	2.061	11.17	9.285 6
IG	D <sub>CK</sub>	15.543	0.00	1.872 5	0.00	7.454 6
	D <sub>1</sub>	15.075	-3.01	2.091 8	11.71	7.770 1
	D <sub>2</sub>	11.485	-26.11	2.315 2	23.64	8.838 6
	D <sub>3</sub>	10.913	-29.79	2.115 8	12.99	9.049 4

注: AC 为直链淀粉含量; FC 为脂肪含量; PC 为蛋白质含量。

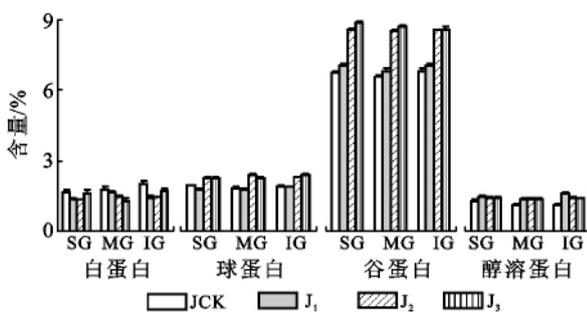


图 1 垦鉴稻 5 号各处理不同粒位 4 种蛋白组分比较

结实期进行不同程度的控水处理, 垦稻 12 号 4 种蛋白组分的变化规律与垦鉴稻 5 号的相似。结实期进行不同程度的控水处理, 降低了垦稻 12 号优、中、劣势粒的白蛋白含量, 其中 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 优势粒的白蛋白含量分别低于 D<sub>CK</sub> 4.62%, 13.843% 和 0.78%, 中势粒白蛋白含量分别低于 D<sub>CK</sub> 0.01%, 0.82% 和 4.13%, 劣势粒的白蛋白含量分别低于 D<sub>CK</sub> 0.84%,

4.71% 和 6.26%。结实期进行 -8 ~ -10 kPa 的间歇控水处理, 降低了垦稻 12 号优、中、劣势粒的球蛋白含量, 分别低于 D<sub>CK</sub> 15.63%, 17.50% 和 12.26%; 结实期进行 -18 ~ -20 kPa 和 -28 ~ -30 kPa 的持续控水处理, 增加了垦稻 12 号优、中、劣势粒的球蛋白含量, 其中 D<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub> 优势粒球蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 0.63% 和 3.46%, 中势粒球蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 0.01% 和 3.13%, 劣势粒的球蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 10.97% 和 8.39%。结实期进行不同程度的控水处理, 增加了垦稻 12 号优、中、劣势粒的谷蛋白和醇溶蛋白含量, 其中 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 优势粒的谷蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 2.63%, 33.51% 和 39.47%, 中势粒谷蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 8.24%, 41.03% 和 44.69%, 劣势粒的谷蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 的 6.13%, 37.36% 和 50.37%, 可以看出随着控水强度的增加, 优、中势粒谷蛋白含量随之增加; D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 优势粒的醇溶蛋白含量分别高于 D<sub>CK</sub> 19.15%,

15.96%和 34.05%，中势粒的醇溶蛋白含量分别高于  $D_{CK}$  15.53%，8.74%和 14.95%，劣势粒的醇溶蛋白含量分别高于  $D_{CK}$  9.09%，14.14%和 12.60% (图 2)。上述结果说明，结实期进行不同程度的控水处理抑制了垦稻 12 号各粒位白蛋白的合成，促进了该品种优、中、劣势粒谷蛋白和醇溶蛋白的合成；结实期进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理，抑制了垦稻 12 号各粒位球蛋白的合成，结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理，促进了垦稻 12 号各粒位球蛋白的合成。

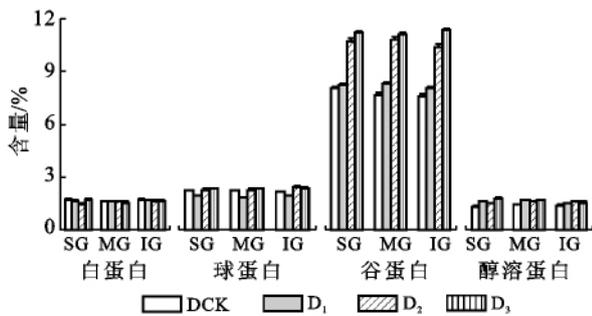


图 2 垦稻 12 号各处理不同粒位 4 种蛋白组分比较

本试验结果，垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒中白蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白含量比率， $J_{CK}$  的变化幅度分别为 14.73%~17.69%，15.73%~16.67%，57.04%~57.98%，9.27%~10.87%； $J_1$  的变化幅度分别为 11.92%~14.77%，15.18%~15.61%，58.35%~60.24%，11.59%~13.05%； $J_2$  的变化幅度分别为 10.29%~11.19%，16.47%~17.30%，61.66%~62.85%，9.85%~10.39%； $J_3$  的变化幅度分别为 9.72%~12.70%，15.89%~16.77%，60.62%~63.81%，9.92%~9.97%。对照和各个处理均以谷蛋白所占的比率最高，且均大于 50%，醇溶蛋白所占的比率较低 (图 3)。

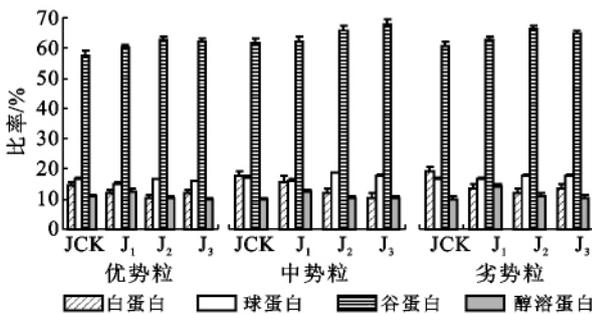


图 3 垦鉴稻 5 号不同粒位 4 种蛋白所占比率

垦稻 12 号优、中、劣势粒中白蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白含量比率 (图 4)， $D_{CK}$  的变化幅度分别为 13.01%~14.01%，16.77%~17.20%，58.41%~59.75%，9.85%~11.08%； $D_1$  的变化幅度分别为

12.56%~13.57%，13.71%~14.42%，60.55%~61.37%，11.45%~12.36%； $D_2$  的变化幅度分别为 9.80%~10.72%，13.77%~15.00%，64.43%~66.58%，9.54%~9.85%； $D_3$  的变化幅度分别为 9.75%~10.61%，13.62%~13.89%，65.40%~66.89%，9.22%~10.37%。对照和各个处理均以谷蛋白所占的比率最高，且均大于 50%，球蛋白的比率次之，醇溶蛋白所占的比率最低。

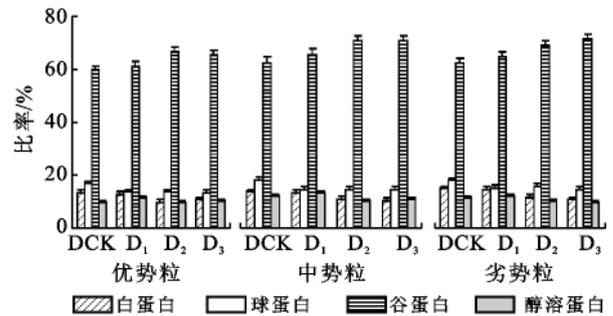


图 4 垦稻 12 号不同粒位 4 种蛋白所占比率

本试验控水条件对 2 品种不同粒位 RVA 特征值的影响见表 5。结实期进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理，增加了垦鉴稻 5 号优、中势粒的最高黏度值，降低了垦鉴稻 5 号劣势粒的最高黏度值；降低了垦稻 12 号优势粒的最高黏度值，增加了垦稻 12 号中、劣势粒的最高黏度值。结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理，降低了 2 品种的最高黏度值。结实期进行不同程度的控水处理增加了 2 品种各粒位的热浆黏度值和冷胶黏度值。

2 品种不同粒位消减值的变化如表 5。结实期进行 3 种不同程度的控水处理，除了  $J_1$  劣势粒的消减值增加外，垦鉴稻 5 号其他处理各粒位的消减值均降低。结实期进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理，使垦稻 12 号各粒位的消减值降低。结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理，增加了垦稻 12 号的优、中势粒的消减值，降低了垦稻 12 号劣势粒的消减值。上述结果说明结实期进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理，有利于 2 品种消减值的降低，即有利于 2 品种米饭的硬度降低。结实期进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理，有利于垦鉴稻 5 号消减值的降低，不利于垦稻 12 号消减值的降低。

2.4 结实期水分供应对稻米蒸煮食味品质的影响

结实期进行不同程度的控水处理使 2 品种各粒位的米饭食味评分值降低。其中垦鉴稻 5 号表现为： $J_1$  优、中、劣势粒米饭食味评分值均高于  $J_2$  和  $J_3$  对应粒位的；垦稻 12 号表现为：随着控水强度的增加，相应粒位的米饭食味评分值降低的越多 (图 5)。

表 5 2 品种各处理不同粒位的 RVA 特征

处理	垦鉴稻 5 号				垦稻 12 号				
	PKV	HPV	CPV	SBV	PKV	HPV	CPV	SBV	
SG	CK	187.58	131.58	233.67	46.08	225.75	148.58	271.83	46.08
	处理 1	191.58	127.25	233.42	41.83	225.58	146.67	267.92	42.33
	处理 2	185.92	124.75	224.92	39.00	186.58	132.67	248.92	62.33
	处理 3	179.42	110.00	214.00	34.58	174.25	127.17	239.42	65.17
MG	CK	182.67	122.08	226.17	43.50	208.92	146.58	264.75	55.83
	处理 1	183.67	119.42	222.33	38.67	214.42	146.08	264.75	50.33
	处理 2	181.83	121.75	221.83	40.00	184.25	128.08	244.83	60.58
	处理 3	176.92	114.92	213.67	36.75	177.75	124.58	237.33	59.58
IG	CK	177.75	117.25	220.83	43.08	192.75	146.75	259.58	66.83
	处理 1	172.33	116.75	216.58	44.25	199.08	132.67	244.00	44.92
	处理 2	174.42	112.17	213.92	39.50	171.58	121.83	231.08	59.50
	处理 3	172.25	108.83	211.08	38.83	167.92	115.67	213.08	45.17

注: PKV 为最高黏度; HPV 为热浆黏度; CPV 为冷胶黏度; SBV 为消减值。

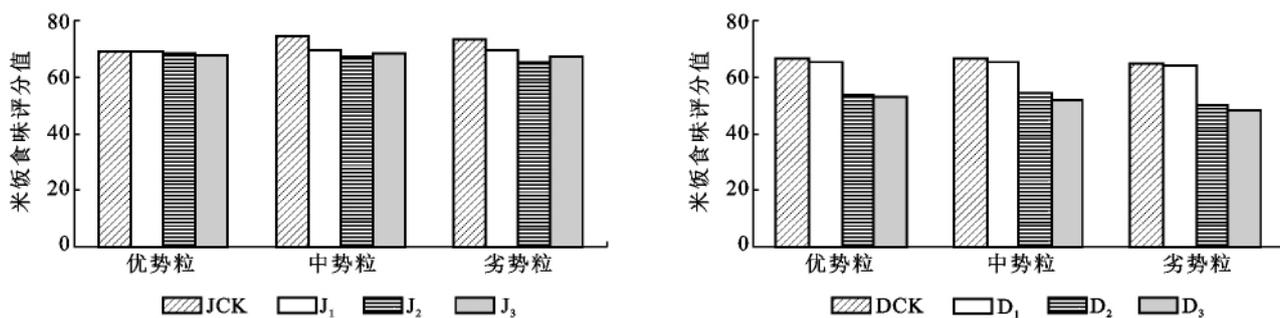


图 5 2 品种各处理米饭食味评分值比较

2.5 不同控水处理的节水效果

通过计量不同处理的生育期用水量, 最后计算出不同控水处理的节水率(表 6), 结实期进行 -8 ~ -10 kPa 的间歇控水处理, 2 品种的节水率均为 17.06%; 结实期进行 -18 ~ -20 kPa 和 -28 ~ -30 kPa 的持续控水处理, 垦鉴稻 5 号的节水率均分别为 6.69% 和 8.99%, 垦稻 12 号的节水率均分别为 20.76% 和 21.45%。J<sub>2</sub> 和 J<sub>3</sub> 节水率低的原因可能是 2 处理从出穗后田面始终无水层, 蒸发量较有水层的 J<sub>CK</sub> 和 J<sub>1</sub> 大, 其节水率低是由于蒸发量的增加, 而不是由于蒸腾作用。D<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub> 节水率高的原因是由于控水强度太大造成了该品种后期倒伏、早衰, 腾发量降低。

表 6 不同控水处理的节水效果

处理	用水量 (m <sup>3</sup> /盆)	±Δ%	处理	用水量 (m <sup>3</sup> /盆)	±Δ%
J <sub>CK</sub>	0.046 9	—	D <sub>CK</sub>	0.046 9	—
J <sub>1</sub>	0.038 9	-17.06	D <sub>1</sub>	0.038 9	-17.06
J <sub>2</sub>	0.043 8	-6.69	D <sub>2</sub>	0.037 2	-20.76
J <sub>3</sub>	0.042 7	-8.99	D <sub>3</sub>	0.036 8	-21.45

3 结论

结实期是水稻产量及品质形成的关键时期, 这一时期土壤水分胁迫会造成产量下降, 品质变劣<sup>[14-18]</sup>。郑家国等<sup>[15]</sup>认为花后水分亏缺, 将使加工品质变劣。柯传勇<sup>[19]</sup>认为, 抽穗至成熟期内严重的水分胁迫显著地降低了稻米的整精米率, 并且提高了垩白率, 严重影响了稻米的品质。王成瑗等<sup>[10]</sup>认为, 乳熟期和灌浆期干旱胁迫, 使饱满粒率、饱满千粒重降低, 整精米率下降, 特别是灌浆期干旱还会导致垩白率、垩白度明显增高, 蜡熟期干旱胁迫使胶稠度下降, 蛋白质含量降低。王平荣等<sup>[20]</sup>认为, 结实期干旱可降低稻米加工品质, 其中对整精米率的影响最大, 干旱对粒形影响不大, 但显著增加垩白米率和垩白度, 降低稻米的外观品质, 干旱还可影响稻米的蒸煮和食用品质使稻米的糊化温度提高, 胶稠度变硬, 直链淀粉含量降低。赵步洪等<sup>[21]</sup>认为, 结实期水分胁迫对两系杂交稻营养品质无明显影响, 外观品质明显变劣, 加工品质也有变劣的趋势。平宏和<sup>[22]</sup>报道, 幼穗分化后土壤水分降低, 蛋白质含量增加, 灰分含量减少, 脂肪

含量略有增加。当土壤含水量低时或在干旱的条件下,糙米中的蛋白质含量较高<sup>[23]</sup>。本研究结果表明,结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,有利于垦鉴稻 5 号整精米率的提高,不利于垦稻 12 号整精米率的提高,2 品种的加工品质对控水的反应不同。这可能与品种的粒形有关,垦鉴稻 5 号的长宽比较小,而垦稻 12 号的长宽比较大,在加工过程中垦稻 12 号更容易产生碎粒而降低整精米率。垦鉴稻 5 号整精米率提高与前人的研究结果不同,垦稻 12 号整精米率降低与前人的研究结果相同。结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,2 品种各粒位糙米的粒宽减小、长/宽增加,这与王平荣等的研究结果不同;垦鉴稻 5 号优势粒和中势粒的垩白率和垩白度增加、劣势粒的垩白率和垩白度降低,垦稻 12 号各粒位的垩白率和垩白度均增加,外观品质变劣,这与前人的研究结果相同。结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,使 2 品种各粒位直链淀粉含量降低,这与王平荣等的研究结果相同;使 2 品种蛋白质含量的提高,这与王成瑗等的研究结果不同。结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,降低了 2 品种的最高黏度值,增加了 2 品种各粒位的热浆黏度值和冷胶黏度值;有利于 J 品种消减值的降低,不利于垦稻 12 号消减值的降低,这可能与不同品种对水分胁迫的反应不同有关。结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,使 2 品种各粒位的米饭食味评分值降低。综合上面的分析,可以认为结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理使 2 品种的品质变劣。

有关结实期土壤水分对稻米品质的影响已有较多的报道,但关于在干湿交替灌溉条件下稻米品质形成的特点研究较少<sup>[12-13,24-25]</sup>。张慎凤<sup>[25]</sup>认为,结实期轻干湿交替灌溉可以提高米的碾磨品质(糙米率、精米率和整精米率)和外观品质(增加透明度、降低垩白率和垩白度),并可改善稻米淀粉黏滞谱特性(最高黏度和崩解值增大,热浆粘度、最终粘度和消减值减小)和食味性,重干湿交替灌溉降低了稻米品质。说明轻干湿交替灌溉可以获得高产、优质和节水的效果。杨建昌等<sup>[12]</sup>认为,结实期干湿交替灌溉的低限土壤水势为 $-25$  kPa 时,稻米的加工品质、外观品质和淀粉 RVA 谱显著改善,对稻米的蒸煮及营养品质无不利影响,建议将土壤水势 $-25$  kPa 作为结实期水稻高产优质灌溉的低限土壤水势指标。蔡一霞等<sup>[13]</sup>认为,水稻籽粒整个灌浆结实期间,间歇灌溉低限土壤水势为 $-15$  kPa 时,整精米率提高,对垩白粒率和垩白度无

显著影响,胶稠度变软,稻米品质有所改善,认为结实期间歇灌溉法低限土壤水势控制在 $-15$  kPa 左右,可作为水稻优质灌溉的方法和指标。刘凯等<sup>[24]</sup>认为,结实期土壤轻度落干或轻干湿交替灌溉可以提高粒重和改善稻米的加工品质、外观品质和食用品质。李国生<sup>[26]</sup>认为,结实期适当降低土壤水势(土壤水势保持在 $-15\sim-30$  kPa),对稻米的出糙率、精米率、整精米率等碾米品质无明显的不利影响;有利于外稻米观品质的改善;最高黏度和崩解值较显著增加,消减值显著降低,有利于稻米食味品质的改善。本研究结果表明,结实期进行 $-8\sim-10$  kPa 的间歇控水处理,有利于垦鉴稻 5 号整精米率的提高,不利于垦稻 12 号整精米率的提高;垦鉴稻 5 号各粒位的垩白率和垩白度均降低,垦稻 12 号各粒位的垩白率和垩白度均增加;垦鉴稻 5 号各粒位直链淀粉含量增加,垦稻 12 号各粒位直链淀粉含量降低;上述品质指标 2 品种所得的结果正好相反,说明水稻对土壤水分的反应在品种间存在着差异。结实期进行 $-8\sim-10$  kPa 的间歇控水处理,有利于 2 品种蛋白质含量和脂肪含量的提高,有利于 2 品种消减值的降低,使 2 品种各粒位的米饭食味评分值降低。上述结果与前人的研究有异同。

结实期进行 $-8\sim-10$  kPa 的间歇控水处理,2 品种的节水率均为 17.06%;结实期进行 $-18\sim-20$  kPa 和 $-28\sim-30$  kPa 的持续控水处理,垦鉴稻 5 号的节水率均分别为 6.69%和 8.99%,垦稻 12 号的节水率均分别为 20.76%和 21.45%。

#### [参 考 文 献]

- [1] 黄钢,郑家国,曾献平. 四川优质稻产业化发展的思路与对策[J]. 西南农业学报, 2000, 13(2): 122-127.
- [2] 梁南山. 优质中籼稻保优高产配套技术[J]. 中国稻米, 2001(2): 25-26.
- [3] 朱永川,徐富贤,郑家奎. 四川省优质杂交稻的外观品质现状[J]. 中国稻米, 2001(2): 33-34.
- [4] 陈立松,刘星辉. 水分胁迫对荔枝叶片呼吸代谢有关酶活性的影响[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 39-43.
- [5] 高如嵩,张嵩午. 稻米品质气候生态基础研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994: 8-9.
- [6] Cheng W, Zhang G, Zhao G, et al. Variation in rice quality of different cultivars and grain positions as affected by water management[J]. Field Crops Res., 2003, 80(3): 245-252.
- [7] 郑桂萍,李金峰,钱永德,等. 土壤水分对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(8): 1261-264.
- [8] 郑桂萍,郭晓红,陈书强,等. 水分胁迫对水稻产量和食味品质抗旱系数的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(2): 142-146.

(下转第 223 页)

从表5中看出,裸坡土壤有机质有流失现象,乔木护坡有机质含量丰富;裸坡氮元素没有流失现象,而乔木护坡增加量最多。

植草护坡磷元素流失最为严重,由于草在生长过程中需要吸收的磷元素量相对其他植被要大很多,流失量最少的是乔木护坡。

对于钾元素,除裸坡外,流失最多的是植草护坡。对于钙元素,除裸坡外,植草护坡流失量最大。

植草护坡镁元素流失量最大;菱形护坡锌元素流失量最大,植草护坡铁元素流失量最大。

## 4 结论

(1) 植被覆盖度是边坡土壤流失量的重要影响因素,同等降雨作用下,覆盖度愈大,土壤流失量愈小。不同的植被防护措施其覆盖度差别很大,试验表明,菱形骨架生态护坡植被覆盖度大于乔木护坡,乔木护坡大于植草护坡,裸坡覆盖度最小。

(2) 土壤中组成成分的变化不仅受土壤流失量

的影响,而且土壤组成成分的增减也受到植被本身的影响。

(3) 植草护坡防治土壤流失能力要略强于菱形骨架生态护坡,但在后期的生长过程中,其覆盖度增长不快,对环境的恢复效果差于菱形骨架生态护坡;同时,菱形骨架生态护坡土壤元素流失量相对比较均衡。

(4) 在3类生态护坡措施中,菱形骨架生态护坡效果优于乔木护坡,乔木护坡优于植草护坡。

### [参 考 文 献]

- [1] 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003:43-48.
- [2] 李宇庆,陈玲,赵建夫. 土壤全氮测定方法比较[J]. 广州环境科学,2006(3):28-29.
- [3] 李婧. 土壤有机质测定方法综述[J]. 分析实验室,2008(S):154-156.
- [4] 魏丽红. 土壤全磷测定中样品分解与比色方法的比较研究[J]. 辽宁农业职业技术学院学报,2009(2):1-3.
- [5] 陈新萍. 土壤中全磷测定方法的改进试验[J]. 塔里木大学学报,2005(2):96-98.
- [9] 张卫星,朱德峰,徐一成,等. 不同水分条件下水稻籽粒形态及其与粒重的关系[J]. 作物学报,2008,34(10):1826-1835.
- [10] 王成瓊,王伯伦,张文香,等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(1):131-37.
- [11] 郭咏梅,穆平,刘家富,等. 水旱栽培条件下稻米主要品质性状的比较研究[J]. 作物学报,2005,31(11):1443-1448.
- [12] 杨建昌,袁莉民,唐成,等. 结实期干湿交替灌溉对稻米品质及籽粒中一些酶活性的影响[J]. 作物学报,2005,31(8):1052-1057.
- [13] 蔡一霞,朱庆森,王志琴,等. 结实期土壤水分对稻米品质的影响[J]. 作物学报,2002,28(5):601-608.
- [14] 徐国伟,王朋,唐成,等. 早种方式对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(1):112-117.
- [15] 郑家国,任光俊,陆贤军. 花后水分亏缺对水稻产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学,2003,17(3):239-243.
- [16] 蔡一霞,朱庆森,徐伟. 结实期水分胁迫对水稻强、弱勢粒主要米质性状及淀粉粘滞谱特征的影响[J]. 作物学报,2004,30(3):241-247.
- [17] 郑桂萍,陈书强,郭晓红,等. 土壤水分对稻米成分及食味品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2004,4(35):332-335.
- [18] Bouman B A M, Peng S, Castañeda A R, et al. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems [J]. Agric. Water Manag., 2005,74(2):87-105.
- [19] 柯传勇. 不同水分处理对水稻生长、产量及品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2010.
- [20] 王平荣,邓晓建,高晓玲,等. 干旱对稻米品质的影响研究[J]. 中国农学通报,2004,20(6):282-284,324.
- [21] 赵步洪,叶玉秀,陈新红,等. 结实期水分胁迫对两系杂交稻产量及品质的影响[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2004,25(1):46-50.
- [22] 平宏和. 宫城县产ササニシキ玄米のタンパク質含量[J]. 食总研报,1997(32):1-5.
- [23] 刘建,吴魁. 稻米品质的生态改良及优质稻保优栽培技术[J]. 南京农业学报,2002(3):5-12.
- [24] 刘凯,张耗,张慎凤,等. 结实期土壤水分和灌溉方式对水稻产量与品质的影响及其生理原因[J]. 作物学报,2008,34(2):265-276.
- [25] 张慎凤. 干湿交替灌溉对水稻生长发育、产量与品质的影响[D]. 扬州:扬州大学,2009.
- [26] 李国生. 氮素和结实期土壤水分对稻米品质的影响[D]. 扬州:扬州大学,2007.

(上接第198页)