

吕艳东,郭晓红,李红宇,等. 肥水耦合对寒地水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):93-97.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.027

# 肥水耦合对寒地水稻产量的影响

吕艳东<sup>1</sup>, 郭晓红<sup>1</sup>, 李红宇<sup>1</sup>, 周 健<sup>1</sup>, 姜玉伟<sup>1</sup>, 赵 洋<sup>2</sup>, 蔡永盛<sup>3</sup>, 马 艳<sup>4</sup>, 郑桂萍<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省教育厅寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 黑龙江大庆 163319;

2. 北大荒垦丰种业股份有限公司, 黑龙江哈尔滨 150036; 3. 黑龙江省农业科学院佳木斯水稻研究所, 黑龙江佳木斯 154026;

4. 山东省成武县农业局, 山东菏泽 274200)

**摘要:**采用随机区组试验设计,以龙庆1号和龙盾104为试验材料,研究肥水耦合对寒地水稻产量的影响。结果表明:2个品种的肥料与水分处理间在穗数、结实率、千粒质量及产量上均存在互作关系;龙盾104肥料处理以F3的产量最高,肥水耦合以F3S3的产量最高,显著或极显著高于F3S1、F1S3、F1S1、F1S4、F2S3处理;龙庆稻1号水分处理以S1产量最高,肥水耦合以F3S1最高,显著或极显著高于F3S4、F1S3、F2S3、F1S4、F2S2处理。

**关键词:**肥水耦合;寒地水稻;产量;互作;穗数;结实率;千粒质量;产量

**中图分类号:** S511.05 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-093-04

水稻是我国耗水量最多的作物,土壤水分和养分是影响水稻产量的重要因子,阐明肥料和水分对水稻产量的影响及水肥的互作效应,对于建立优质高产栽培技术具有重要意义<sup>[1-3]</sup>。有研究表明,在农业生态系统中,水分和养分是密不可分的,合理的水肥交互作用能促进作物生长,提高作物产量<sup>[4-6]</sup>。进行水稻的水肥耦合研究结果表明,充分发挥水肥对水稻产量、品质的协同激励作用,不仅可以提高肥水利用效率、节本增效;还可以减少肥料对环境的污染,节约水肥资源,改善生态环境<sup>[6-9]</sup>。这对解决我国的水资源危机、农业的可持续发展、保障国家粮食安全具有重大意义。多年来,国内外关于水分和养分对水稻产量作用的研究已有丰富的报道<sup>[10-12]</sup>,但水分和肥料对产量的交互作用报道甚少。本试验在不同的肥料和水分控制下研究其对水稻产量的影响,旨在为水稻高产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及设计

试验于2011年在黑龙江省庆安和平水利试验站进行,在防雨棚中人工严格控水,晴天时打开防雨棚。供试品种龙庆稻1号和龙盾104均为12叶品种,4月10日浸种,4月19日播种,4月26日出苗,秧田管理正常进行,5月20日进行移

栽,每个小区面积4 m<sup>2</sup>左右,每个小区内栽植2个品种,每个品种4行,行距24 cm,穴距12 cm,选叶龄均为3.1~3.5叶的秧苗,每穴3~5苗,9月23日收获。

施肥处理包括F1、F2、F3,具体见表1。肥料种类包括尿素、磷酸二铵、硫酸钾、七水硫酸镁。施肥方法:40%氮肥、100%磷肥、50%钾肥、50%镁肥作基肥,在最后一次水整地前施入,耙入土中8~10 cm;50%镁肥用于中期追肥,追肥于9.0~9.3叶龄时进行(混入细土中撒匀),每个小区单排单灌。分蘖肥要求早施,可分2次进行,第1次施分蘖肥总量的70%~80%,于返青期(4叶期)后立即施用;第2次施分蘖肥总量的20%~30%,于6.0叶龄施于色淡、生长差、分蘖少处。

用负压式真空表监测土壤水势,设-10、-15、-20 kPa等3个水势梯度,当土壤水势达-10、-15、-20 kPa时灌水,即-10、-15、-20 kPa为控水下限,自泡田起就要记录灌水定额。具体操作为秧苗移栽本田后,5~6 cm水层深水护苗返青。在返青后的各个生育阶段除了除草和施肥期间外,灌水后田面不再保留水层(一定要封闭除草,苗后施用除草剂期间保持水层要多2~3 d,否则易出现草荒),不同生育时期的水势管理见表2,以常规栽培的水分管理为CK;减数分裂期遇低温则灌深水达17 cm以上,低温过后进行湿润灌溉(0 kPa为水分敏感期),齐穗后恢复到控水灌溉的水势要求进行水分管理,蜡熟未停灌。育苗、移栽按常规旱育稀植“三化一管”进行,要求在本地同一条件下育苗,本田按叶龄指标计划管理,适期收获。

### 1.2 测试内容与方法

每个处理选有代表性的植株4穴,测定项目主要有单株穗数、实粒数、空秕粒数,称取粒质量,计算结实率、千粒质量。

## 2 结果与分析

### 2.1 肥水耦合对寒地水稻穗数的影响

肥水对龙盾104穗数影响的F测验结果说明,肥料间、水分间和肥料×水分间差异极显著。

收稿日期:2014-10-17

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201303007);国家科技支撑计划(编号:2011BAD16B11、2013BAD07B01);黑龙江省博士后资助经费项目(编号:LBH-Z13167);黑龙江八一农垦大学省作物学重点学科学术骨干科研启动金项目(编号:ZWXQDJ-8);黑龙江八一农垦大学博士启动金项目(编号:XDB 2012-03);黑龙江八一农垦大学大学生创新创业训练计划(编号:201310223009);黑龙江省重大科技招标项目(编号:GA14B102-03)。

作者简介:吕艳东(1978—),男,黑龙江肇州人,博士,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,博士,教授,主要从事水稻生理生态研究。E-mail: dqzgp@163.com。

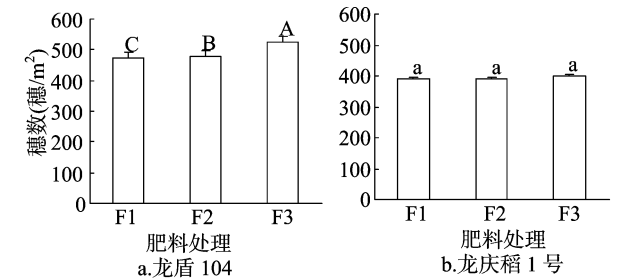
表 1 肥水耦合与水稻品质关系研究的肥料处理

| 肥料种类  | 施肥总量(kg/hm <sup>2</sup> ) |       |       | 施肥量(%) |    |     |            |    |    |
|-------|---------------------------|-------|-------|--------|----|-----|------------|----|----|
|       | F1                        | F2    | F3    | 基肥     | 蘖肥 | 调节肥 | 9.0~9.3 叶龄 | 穗肥 | 粒肥 |
| 尿素    | 210.0                     | 210.0 | 252.0 | 40     | 30 | 10  |            | 20 | 0  |
| 磷酸二铵  | 130.5                     | 130.5 | 10.4  | 156    |    |     |            |    |    |
| 硫酸钾   | 184.5                     | 184.5 | 222.0 | 50     |    |     |            | 50 |    |
| 七水硫酸镁 |                           | 100.5 | 120.0 | 50     |    |     | 50         |    |    |

表 2 肥水耦合与水稻品质关系研究的水分处理

| 水分处理 | 水势处理(kPa) | 控水时期     |
|------|-----------|----------|
| S1   | -10       | 返青-有效分蘖末 |
| S2   | -15       | 返青-有效分蘖末 |
| S3   | -20       | 返青-有效分蘖末 |
| S4   | 常规水分管理    | 整个生育期间   |

2.1.1 肥料处理对寒地水稻穗数的影响 由图 1 可知,龙盾 104 的穗数在各肥料处理间差异极显著,其中以 F3 处理的穗数最多,F2 次之;龙庆稻 1 号各处理之间差异不显著,其中以 F3 处理的穗数最多。因此,就肥料的平均效应而言,2 个品种均以 F3 的穗数最多,F1 的穗数最少。



不同大写、小写字母者分别表示在 0.01、0.05 水平差异显著。下同  
图1 不同肥料处理对 2 个品种穗数的影响

2.1.2 水分处理对寒地水稻穗数的影响 龙盾 104 各处理间差异极显著,其中 S2 处理的穗数最多,其次是 S1;龙庆稻 1 号以 S1 处理的穗数最多,其次是 S2。因此,就水分处理的平均效应而言,龙盾 104 以 S2 的穗数最多,龙庆稻 1 号以 S1 的穗数最多,2 个品种均以 S3 的穗数最少(图 2)。

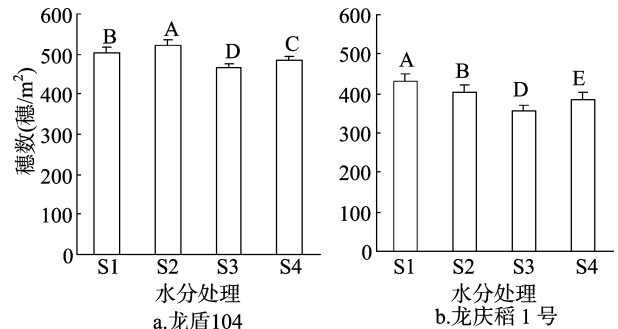


图2 不同水分处理对 2 个品种穗数的影响

2.1.3 肥水耦合对寒地水稻穗数的影响 由表 3 可知,2 个品种各处理间的穗数差异极显著。2 个品种的穗数由于存在肥料与水分间的互作效应,说明各处理组合的效应不是各单因素效应的简单相加,而是肥料效应随水分的变化而变化。

2.2 肥水耦合对寒地水稻穗粒数的影响

肥水耦合对龙盾 104 和龙庆稻 1 号穗粒数的影响的 F 测

验结果表明,龙盾 104 在不同肥料处理、水分处理、肥料×水分处理间差异不显著;龙庆稻 1 号在不同肥料处理、肥料×水分处理间差异不显著,在各水分处理间差异极显著。

表 3 不同肥水处理对穗数的影响

| 肥料×水分 | 穗数(穗/m <sup>2</sup> ) |         |
|-------|-----------------------|---------|
|       | 龙盾 104                | 龙庆稻 1 号 |
| F1S1  | 467.2jJ               | 419.2eE |
| F1S2  | 486.4hH               | 457.6aA |
| F1S3  | 489.6gG               | 339.2jJ |
| F1S4  | 451.2kK               | 345.6iI |
| F2S1  | 540.8cC               | 435.2cC |
| F2S2  | 508.8eE               | 374.4hH |
| F2S3  | 352.0iI               | 332.8kK |
| F2S4  | 518.4dD               | 428.8dD |
| F3S1  | 505.6fF               | 444.8bB |
| F3S2  | 569.6aA               | 384.0gG |
| F3S3  | 553.6bB               | 390.4fF |
| F3S4  | 480.0iI               | 384.0gG |

2.2.1 肥料处理对寒地水稻穗粒数的影响 龙盾 104 和龙庆稻 1 号在各肥料处理间差异均不显著。但就肥料的平均效应而言,龙盾 104 以 F2 的穗粒数最多,龙庆稻 1 号以 F3 的穗粒数最多,2 个品种均以 F1 的穗粒数最少(图 3)。

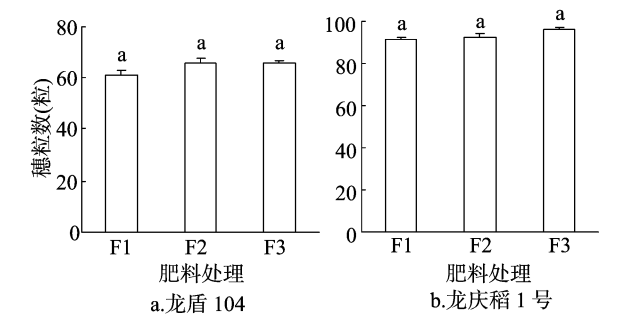


图3 不同肥料处理对 2 个品种穗粒数的影响

2.2.2 水分处理对寒地水稻穗粒数的影响 龙盾 104 各水分处理间差异均不显著;但龙庆稻 1 号的 S3 与 S2 差异极显著,S4、S1 与 S2、S3 差异不显著(图 4)。因此,就水分的平均效应而言,龙盾 104 以 S4 的穗粒数最多,S3 次之,S2 最少;龙庆稻 1 号以 S3 的穗粒数最多,S4 次之,S2 最少。

2.2.3 肥水耦合对寒地水稻穗粒数的影响 因肥料与水分间不存在互作效应,故以水分的最优处理和肥料的最优处理组合在一起为最优组合。龙盾 104 以 S4 和 F2 的穗粒数最多,两者组合 F2S4 穗粒数最多;龙庆稻 1 号以 F3 和 S3 的穗粒数最多,两者组合 F3S3 穗粒数最多(表 4)。其中,龙盾 104 的 F2S4 与 F1S4 差异显著;龙庆稻 1 号的 F3S3 与 F2S2 差异极显著,F3S3 与 F3S2、F1S2、F2S4、F2S3 与 F2S2 差异显著。

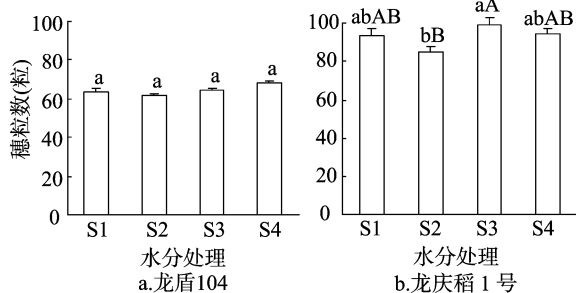


图4 不同水分处理对 2 个品种穗粒数的影响

表 4 不同肥水处理对穗粒数的影响

| 肥料 × 水分 | 穗粒数(粒)  |           |
|---------|---------|-----------|
|         | 龙盾 104  | 龙庆稻 1 号   |
| F1S1    | 65.9abA | 91.4abcAB |
| F1S2    | 61.0abA | 87.3bcAB  |
| F1S3    | 60.0abA | 93.9abcAB |
| F1S4    | 58.5abA | 91.2abcAB |
| F2S1    | 63.5abA | 94.5abcAB |
| F2S2    | 63.5abA | 78.6cB    |
| F2S3    | 62.7abA | 97.0abAB  |
| F2S4    | 73.8aA  | 100.8abAB |
| F3S1    | 61.5abA | 95.9abcAB |
| F3S2    | 60.1abA | 89.7bcAB  |
| F3S3    | 68.7abA | 107.8aA   |
| F3S4    | 70.4abA | 90.7abcAB |

### 2.3 肥水耦合对寒地水稻结实率的影响

肥水耦合对龙盾 104 和龙庆稻 1 号结实率的影响的  $F$  测验结果表明,龙盾 104 在各肥料处理、水分处理间差异不显著,而在各肥料 × 水分间差异显著;龙庆稻 1 号在各肥料处理间差异不显著,在各水分、肥料 × 水分处理间差异极显著;说明不同的水分处理对龙庆稻 1 号的结实率均有影响。

2.3.1 肥料处理对寒地水稻结实率的影响 龙盾 104 和龙庆稻 1 号各肥料处理间差异均不显著,两者均以 F1 的结实率最高,F3 处理的结实率最低(图 5)。

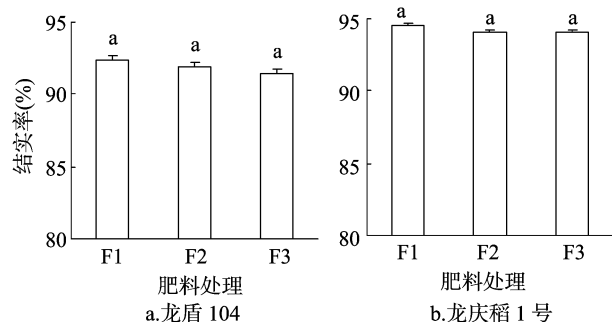


图5 不同肥料处理对 2 个品种结实率的影响

2.3.2 水分处理对寒地水稻结实率的影响 龙盾 104 在各水分处理间差异均不显著;龙庆稻 1 号的 S3 与 S1、S4 差异极显著,S2 与 S1、S4 差异显著(图 6)。就水分的平均效应而言,2 个品种均以 S3 的结实率最高,S2 次之;龙盾 104 的 S1 处理、龙庆稻 1 号 S4 处理的结实率最低。

2.3.3 肥水耦合对寒地水稻结实率的影响 如表 5 所示,龙盾 104 的各处理组合间差异均不显著,其中以处理组合 F3S3

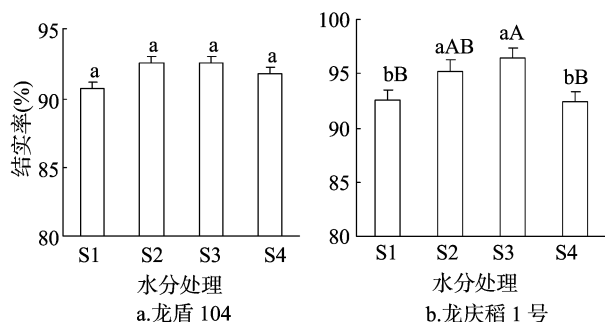


图6 不同水分处理对 2 个品种结实率的影响

的结实率最高,F3S1 的结实率最低;龙庆稻 1 号 F2S2、F2S3、F1S3 与 F2S4 差异极显著,F1S4、F3S3 与 F2S4 差异显著,龙庆稻 1 号以 F2S2 的结实率最高,以 F2S4 的结实率最低。由于 2 个品种的结实率在各肥料与水分间存在互作效应,说明各处理组合的效应不是各单因素效应的简单相加,而是肥料效应随水分的变化而变化。

表 5 不同肥水处理对结实率的影响

| 肥料 × 密度 | 结实率(%) |           |
|---------|--------|-----------|
|         | 龙盾 104 | 龙庆稻 1 号   |
| F1S1    | 90.8aA | 92.0bcAB  |
| F1S2    | 93.2aA | 94.1abcAB |
| F1S3    | 92.2aA | 96.6abA   |
| F1S4    | 93.0aA | 95.2abAB  |
| F2S1    | 92.0aA | 92.0bcAB  |
| F2S2    | 92.8aA | 97.5aA    |
| F2S3    | 92.2aA | 97.4abA   |
| F2S4    | 90.6aA | 89.1cB    |
| F3S1    | 89.2aA | 93.6abcAB |
| F3S2    | 91.6aA | 94.1abcAB |
| F3S3    | 93.4aA | 95.2abAB  |
| F3S4    | 91.6aA | 92.8abcAB |

### 2.4 肥水耦合对寒地水稻千粒质量的影响

肥水耦合对 2 个品种千粒质量影响的  $F$  测验结果表明,龙盾 104 在各肥料处理、水分处理间差异不显著,在肥料 × 水分处理间差异显著;龙庆稻 1 号在各肥料处理间差异不显著,在各水分处理、肥料 × 水分处理间差异极显著。

2.4.1 肥料处理对寒地水稻千粒质量的影响 2 个品种各肥料处理间差异不显著(图 7)。就肥料的平均效应而言,2 个品种均以 F3 的千粒质量最高。

2.4.2 水分处理对寒地水稻千粒质量的影响 龙盾 104 的 S2 与 S3、S4、S1、S3 与 S1 的千粒质量差异极显著,S4 与 S1 差异显著;龙庆稻 1 号各水分处理间差异不显著,且 2 个品种均以 S2 的千粒质量最高(图 8)。

2.4.3 肥水耦合对寒地水稻千粒质量的影响 如表 6 所示,龙庆稻 1 号各处理间的千粒质量差异不显著,龙盾 104 的 F3S2 与 F3S1、F3S4、F3S3、F2S4、F2S1、F1S1、F2S2 与 F3S3、F2S4、F2S1、F1S1、F2S3、F1S2、F1S4 与 F2S1、F1S1、F1S3 与 F1S1 差异极显著。其中,龙盾 104 以 F3S2 的千粒质量最高,F1S1 的千粒质量最低;龙庆稻 1 号以 F2S4 的千粒质量最高,F2S1 的千粒质量最低。由于 2 个品种的千粒质量在肥料与水分间存在互作效应,说明各处理组合的效应不是各单因素

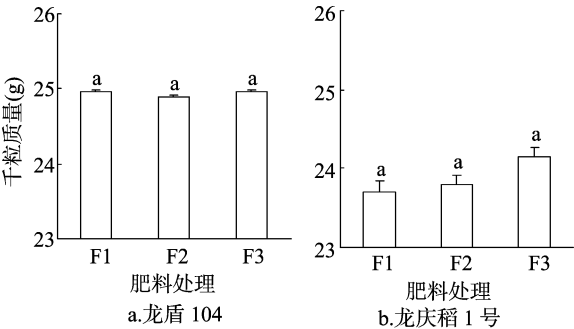


图7 不同肥料处理对 2 个品种千粒质量的影响

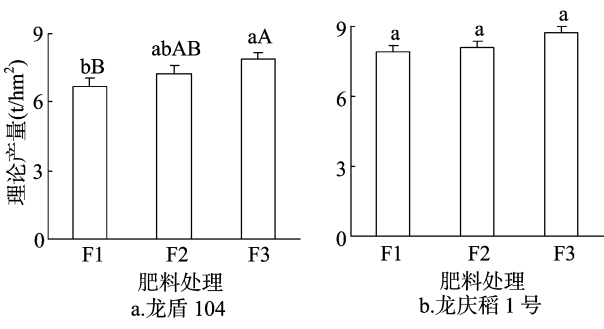


图9 不同肥料处理对 2 个品种理论产量的影响

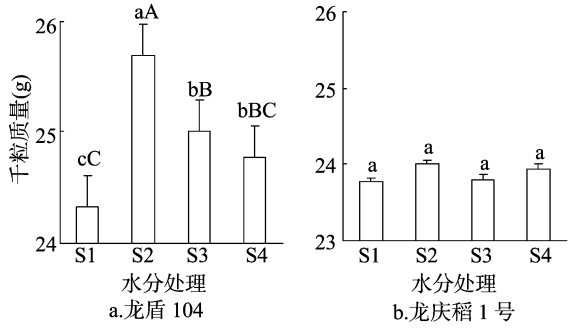


图8 不同水分处理对 2 个品种千粒质量的影响

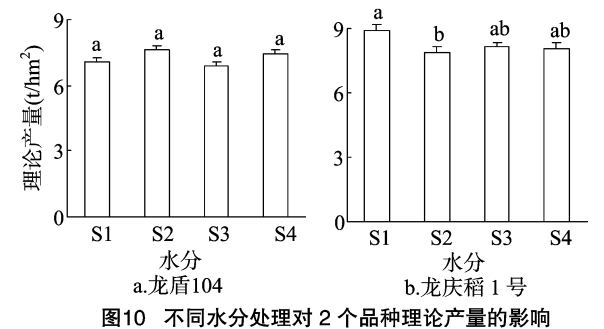


图10 不同水分处理对 2 个品种理论产量的影响

表 6 不同肥水处理对千粒质量的影响

| 肥料×密度 | 千粒质量(g)       |         |
|-------|---------------|---------|
|       | 龙盾 104        | 龙庆稻 1 号 |
| F1S1  | 23.95fE       | 23.67aA |
| F1S2  | 25.41abcABC   | 23.65aA |
| F1S3  | 25.19bcdABCD  | 24.05aA |
| F1S4  | 25.31abcABC   | 23.47aA |
| F2S1  | 24.17efDE     | 23.27aA |
| F2S2  | 25.57abAB     | 23.78aA |
| F2S3  | 25.45abcABC   | 23.34aA |
| F2S4  | 24.36defCDE   | 24.76aA |
| F3S1  | 24.83bcdeBCDE | 24.35aA |
| F3S2  | 26.07aA       | 24.58aA |
| F3S3  | 24.37defCDE   | 24.03aA |
| F3S4  | 24.61cdefBCDE | 23.60aA |

效应的简单相加,而是肥料效应随水分的变化而变化。

2.5 肥水耦合对寒地水稻产量的影响

肥水耦合对龙盾 104 和龙庆稻 1 号的 *F* 测验结果表明,龙盾 104 在各肥料处理、肥料×水分处理间差异极显著,而在各水分处理间差异不显著;龙庆稻 1 号在各肥料处理间差异不显著,在各水分处理间差异显著,在肥料×水分处理间差异极显著。说明不同的肥料处理对龙盾 104 的理论产量有影响;不同的水分处理对龙庆稻 1 号的理论产量有影响。

2.5.1 肥料处理对寒地水稻产量的影响 龙盾 104 的 F3 与 F1 差异极显著,龙庆稻 1 号的各肥料处理间差异不显著(图 9)。就肥料的平均效应而言,2 个品种均以 F3 的理论产量最高,F1 的理论产量最低。

2.5.2 水分处理对寒地水稻产量的影响 如图 10 所示,龙盾 104 各水分处理间差异不显著,其中以 S2 理论产量最高;龙庆稻 1 号的 S1 与 S2 差异显著。就水分的平均效应而言,

龙盾 104 以 S2 的理论产量最高,S3 的理论产量最低;龙庆稻 1 号以 S1 的理论产量最高,S2 的理论产量最低。

2.5.3 肥水耦合对寒地水稻产量的影响 2 个品种的理论产量在肥料与水分间存在互作效应,说明各处理组合的效应不是单因素效应的简单相加,而是肥料效应随水分的变化而变化。龙盾 104 的 F3S3、F2S4 与 F1S4、F2S3、F3S2、F2S2、F2S1、F3S4 与 F2S3 差异极显著,F1S2、F3S1、F1S3、F1S1 与 F2S3 差异显著;龙庆稻 1 号的 F3S1、F3S3、F2S4 与 F1S4、F2S2 差异极显著,F1S2 与 F1S4、F2S2、F2S1 与 F2S2 差异显著(表 7)。其中,龙盾 104 以 F3S3 和 F2S4 的理论产量较高,F1S4 和 F2S3 的理论产量较低;龙庆稻 1 号以 F3S1、F3S3 和 F2S4 的理论产量较高,F1S4 和 F2S3 的理论产量较低。

表 7 不同肥水处理对理论产量的影响

| 肥料×密度 | 理论产量(t/hm²) |           |
|-------|-------------|-----------|
|       | 龙盾 104      | 龙庆稻 1 号   |
| F3S3  | 8.6aA       | 9.6aA     |
| F2S4  | 8.4abA      | 9.6aA     |
| F3S2  | 8.2abcAB    | 8.0abcdAB |
| F2S2  | 7.6abcdAB   | 6.8dB     |
| F2S1  | 7.6abcdAB   | 8.8abcAB  |
| F3S4  | 7.6abcdAB   | 7.6bcdAB  |
| F1S2  | 7.0abcdABC  | 8.9abAB   |
| F3S1  | 6.9bcdABC   | 9.7aA     |
| F1S3  | 6.8bcdABC   | 7.4bcdAB  |
| F1S1  | 6.7cdABC    | 8.3abcdAB |
| F1S4  | 6.2deBC     | 7.0cdB    |
| F2S3  | 5.2eC       | 7.3bcdAB  |

3 结论

2 个品种的肥料处理与水分处理间在穗数、结实率、千粒质量和理论产量上存在互作关系,在穗粒数上不存在互作关