

# 水稻根系在根袋处理条件下对氮养分的反应

蔡昆争<sup>1</sup>, 骆世明<sup>1</sup>, 段舜山<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642; 2. 暨南大学水生生态科学研究所, 广州 510632)

**摘要:**通过大田试验对 10 个水稻品种根系与产量的关系研究表明, 抽穗期和成熟期根冠比与产量呈极显著的负相关关系, 相关系数分别为  $-0.8616$  和  $-0.8889$ 。随之在大田试验基础上选择根冠比大的品种粳粒 89, 设计水分和养分能自由通过, 而根系不能穿过的根袋, 根袋从小到大不同, 以便产生不同大小的水稻植株根冠比。通过水培实验研究在根袋处理后对不同养分条件的反应。水培液设 3 种氮素养分水平, 即  $20\text{mg}/\text{kg}$ ,  $40\text{mg}/\text{kg}$ ,  $60\text{mg}/\text{kg}$ 。结果表明, 在不同氮素养分条件下, 经过根袋处理后在抽穗期根系干重都有下降趋势, 根冠比显著降低, 而根系活性吸收面积在抽穗期有不同程度的增加, 茎鞘贮存性碳水化合物含量明显增加, 叶绿素含量则无明显影响。在抽穗期较大的根袋处理根系总吸收面积、活跃吸收面积及所占比例与对照相比增加效果较为明显, 而较小的根袋处理根系吸收的能力降低, 根系吸收能力大小顺序为: 大袋 > 中袋 > 对照 > 小袋。随养分浓度的增加, 不同根袋处理在抽穗期的根系总吸收面积和活跃吸收面积有下降的趋势。较大的根袋处理在  $20\text{mg}/\text{kg}$  和  $60\text{mg}/\text{kg}$  氮素养分条件下能适当减少根系直径, 增强根系的活性吸收比例, 从而提高根系的活力; 但在成熟期根袋处理对根系的活性吸收无明显影响。

**关键词:** 水稻; 根系; 养分; 冗余

## The response of the rice root system to nitrogen conditions under-root confinement

CAI Kun-Zheng<sup>1</sup>, LUO Shi-Ming<sup>1</sup>, DUAN Shun-Shan<sup>2</sup> (1. Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Aquatic Ecoscience, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1109~1116.

**Abstract:** Under the conditions of ample water and nutrients, production of an excess root system may reduce the growth of shoots because of the competition of carbohydrates between roots and shoots. Roots are the major sink for assimilates, requiring twice as much assimilate to produce per unit dry matter as the shoots. Passioura (1983) doubted that the root system of many crop plants may be excessive; and suggested that smaller root system may be beneficial for assimilate to be transferred to shoots. Based on the assumption that varieties with large root/shoot ratios may exist root redundancy, ten common rice varieties were used to study the relationships between root biomass, shoot biomass and yield in field experiments. The results showed that root/shoot ratios at heading and ripening stages were negatively

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(39770138, 30100107); 教育部博士点基金资助项目(2000065402); 广东省自然科学基金资助项目(980145, 20000636)

**收稿日期:** 2002-06-04; **修订日期:** 2002-12-10

**作者简介:** 蔡昆争(1970~), 男, 云南曲靖人, 博士, 从事农业生态、作物及根系生理生态研究。

**致谢:** 美国 Purdue University Beyrouthy Craig A. 教授协助撰写修改英文摘要, 谨表诚挚谢忱 We thank Dr. Beyrouthy Craig A., Agronomy Department of Purdue University, for help with revising English abstract

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 39770138, No. 30100107), Doctoral Fund of the Ministry of Education (No. 2000065402) and Guangdong Natural Science Foundation (No. 980145, No. 20000636)

**Received date:** 2002-06-04 **Accepted date:** 2002-12-10

**Biography:** CAI Kun-Zheng, Ph. D., the research field: agroecology and crop eco-physiology.

correlated with yield (correlation coefficients were  $-0.8616$  and  $-0.8889$ , respectively) but root weight was not. So root system redundancy existed for those rice varieties with large root/shoot ratio in terms of maximizing yield.

A hydroponic experiment was conducted to further elucidate the relationship between root and shoot development and yield. Root system was placed in cylindrical nylon bags to result in root confinement. Different sizes of nylon bags allowed movement of water and nutrients but prevented penetration of root. The diameters of the root bags were 3cm(R3), 4cm(R4), 5cm(R5) respectively and the length was 25cm. Rice grown in the absence of a nylon bag was used as a control(R0). Different root/shoot ratios could be realized through root confinement methods. The variety Jingxian 89 with large root/shoot ratio and nitrogen levels of 20mg/kg, 40mg/kg and 60mg/kg for the hydroponic solutions were used in this experiment. Rice grown with a confined root system at different N levels had significantly lower root/shoot ratios, higher total surface area(TSA), active absorption area(ASA) and ASA/TSA ratio at heading stage. The root/shoot ratio at the low N level was reduced by 21.94%, 4.64% and 15.54% and at the medium N level, were reduced by 21.51%, 15.13%, 22.45%, when roots were confined to bags with the diameter of R3, R4 and R5, respectively. The reserved carbohydrate content, especially the soluble sugar in the stem and sheath of the rice plant also increased significantly. The chlorophyll content in the functional leaves were not affected by root confinement. Moderate root confinement increased TSA, ASA and ASA/TSA ratio than other root confinement at different nutrient levels, but root system activity decreased with severe root confinement. With the increase of N concentration, TSA, ASA of the root system decreased in all treatments. These results suggest that root system competition decreased with the increase in N nutrient level. Moderate root confinement could reduce root diameter, increase active root absorption and root activity at heading. However, root confinement had no effects on root surface area and active absorption area at ripening. These results suggest that reduction of root/shoot ratio may be beneficial to increase root system activity, and promote more carbohydrate transferred to the shoot.

**Key words:** rice; root system; nutrient; redundancy

文章编号:1000-0933(2003)06-1109-08 中图分类号:S181;S314 文献标识码:A

水稻根系是吸收水分和养分的重要器官,同时也是—些内源激素(如细胞分裂素等)的重要合成器官。它与植株衰老、物质生产、同化产物的运输分配等关系密切<sup>[1]</sup>,对地上部的生长发育、穗粒结构和产量形成具有重要的作用。传统上普遍认为,根系越庞大,作物获得的水分就越多,因而产量就越高<sup>[2-3]</sup>,即高产需要庞大根系来支撑。然而,过于庞大的根系往往消耗大量的光合产物,使地上部生长受到一定影响。有关研究认为半干旱区小麦根系在未进行人工定向选择前在数量上和質量上都存在生长冗余<sup>[4-8]</sup>,特别是大根系品种在正常水分条件下存在冗余。有关研究认为,在良好水分供应条件下植物根系明显存在冗余,而在干旱条件下则需要庞大的根系以维持对水分的需求<sup>[9]</sup>。人工栽培条件下的水稻,基本上都生长在水肥良好的条件之下,在未进行定向根系育种前是否存在冗余值得探讨。由于根系冗余不仅使光合同化产物过多地分配到非光合性器官非收获性器官,而且,过分庞大的根系还会因根部呼吸消耗而浪费大量的同化物质<sup>[10]</sup>。本研究在选用10个生产上应用面积较大的水稻品种,研究根冠比与产量之间的关系。此外,设计通过根袋处理来降低根系大小或减小根冠比,探讨对不同环境条件如养分、光照、水分的反应,分析根冠比减小后对根系和地上部的生理生态性状所产生的变化,从机制上了解根冠比减小后的影响。本文是关于根冠比降低后对不同养分条件反应的研究结果。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料 万方数据

(1)大田实验 试验采用的水稻品种10个,分别为广陆矮(矮秆),二青矮,七山占,粤香占,粳粳88,培

杂 72、培杂青珍、粳粳 89,丰矮占 1 号,特 3 矮,其中培杂 72、培杂青珍为杂交稻,其余均为常规稻,粳粳 89,丰矮占 1 号,特 3 矮由广东省农业科学院水稻研究所新品种选育研究室提供,其它由华南农业大学农学系育种教研室提供。

(2)水培实验 试验于 1999 年 3~7 月在华南农业大学资源环境学院农化教研室网室进行。供试品种为根冠比较大的品种粳粳 89,由广东省农业科学院水稻研究所提供。

## 1.2 实验处理

1.2.1 大田试验 实验设计 1998 年早稻和晚稻在华南农业大学试验农场进行,土壤为水稻土,有机质含量为 18.20g/kg,速效氮为 98.85mg/kg,速效磷为 51.2mg/kg,速效钾为 162.2mg/kg。早稻播期为 3 月 5 日,移栽时间为 4 月 5 日,插植规格为 20cm×20cm,每穴插两苗。小区面积为 18m<sup>2</sup>,设 3 个重复,随机区组排列。本田施肥量为 N 150kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 150kg·hm<sup>2</sup>,进行常规水分管理。晚稻播期为 7 月 25 日,移栽时间为 8 月 10 日,其余设计同早稻。

根系样本设置 参照文献有关的方法<sup>[11,12]</sup>并加以改进。每个试验小区随机设置 9~12 个样点,在样点上挖去深 30cm,直径为 15cm 的孔洞,然后将套有尼龙袋的铁筒插入孔洞,将铁筒填满泥土,然后小心取出铁筒。这样在每个样点上就安置了一个直径为 15cm,深度为 30cm 的尼龙袋。每个袋里按规格插植两苗。分别在分蘖期、抽穗期、成熟期,从每个小区的样点上取样 3~4 棵共 6~8 株。取样时,将尼龙袋连同稻株带土取出,洗净泥土,获取完整的根系,用于各种指标的测定。在水稻的各生育期调查株高、分蘖、干物重的变化,同时测定根系指标,包括根重、根体积、根长、根活力,根体积用排水法,根活力用  $\alpha$ -萘胺法<sup>[13,14]</sup>,成熟时每个处理取样 10 棵进行测产、考种。

1.2.2 水培实验 试验于 1999 年 3~7 月在华南农业大学资环学院农化教研室网室进行。取纯净种子用 54~55℃ 的温水浸种 10min 消毒。然后室温浸种,35℃ 催芽,把已催好芽的种子播在洗净的白瓷盘上的沙中,沙厚 5cm。砂培育苗,每品种各取大小一致的 10 日幼龄秧苗洗去根部砂粒后随机移入塑料箱,塑料箱的规格长、宽、高分别为 64cm,38cm,15cm,以国际水稻所推荐的水培液配方培养<sup>[15]</sup>。秧苗用塑料泡沫板固定,密度为 6cm×6cm,每箱 12 棵,在玻璃网室自然光温条件下长至 4 周龄后,将幼苗从塑料箱中转到塑料桶中进行 3 种养分浓度(只改变氮素养分含量,其它元素养分含量固定)、4 种根袋规格的处理,每桶一棵,4 次重复。设计 3 种大小不一的根袋,这种根袋养分能自由透过,而根系不能穿过。实验时使根系生长在水培液的不同直径的根袋中,从而造成不同的根冠比大小。这样观察在不同氮素养分下植株根系和地上部相关性状的生理生态特征。用 300 目(孔径大约为 50 $\mu$ m)尼龙网袋套住根系,直径为 3cm、4cm、5cm,高 25cm 的尼龙网袋,各处理分别用 R3、R4、R5 表示,对照为不套根袋(R0)。水培液不同养分浓度设对照(N0,常规营养液),高氮(N2,1.5 倍常规氮营养液),低氮(N1,0.5 倍常规氮营养液)3 个处理。实验分 4 种根袋×3 种养分条件×4 个重复,共 48 盆。实验期间,每星期更换培养液一次,每天将溶液 pH 值调节在 4.5~5.0 之间。

## 1.3 测定指标及方法

(1)大田试验 在水稻的各生育期调查株高、分蘖、干物重的变化,同时测定根系指标,包括根重、根体积,成熟时每个处理取样 10 穴进行考种,同时将每个小区所有植株进行收获测产。

(2)水培实验 各处理重点在抽穗期和成熟期测定单株地上部各器官的干物重、叶片叶绿素含量、茎鞘贮存性碳水化合物含量,地下部根系干重、体积、总吸收面积、活性吸收面积、比表面积、根系活力等。根干重用烘干法,根系体积用排水法,根系总吸收面积、活性吸收面积用甲稀蓝染色法<sup>[13,14]</sup>。叶片叶绿素含量采用丙酮和无水乙醇混合液提取法<sup>[20]</sup>,茎鞘贮存性碳水化合物(包括可溶性糖、淀粉)的含量,采用蒽酮法<sup>[13,14]</sup>。

以上生理指标和有关材料取样按参考文献方法进行<sup>[16]</sup>。叶绿素含量的测定取主茎倒 2 叶,茎鞘可溶性糖和淀粉含量的测定取主茎倒 2 叶叶鞘和倒 2 节间,同一处理重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻不同生育期根冠比与产量的关系

10 个水稻品种的产量构成与抽穗期和成熟期根冠比的特征见表 1 和图 1。从图 1 可看出根冠比大小与每穗粒数呈显著负相关关系,与产量呈极显著负相关关系,相关系数达  $-0.8889$ ,而根重则与产量没有明显的相关关系。而对抽穗期 10 个品种根冠比与成熟期产量的相关关系比较,相关系数为  $-0.8616$ ,达极显著的负相关关系(见图 1)。可见,无论是在抽穗期还是成熟期,根冠比均与产量呈负相关关系,即根冠比大的品种产量较低,根冠比小的品种产量较高。据此可以初步推断,从产量的角度来看,根冠比过大的品种存在根系方面的生长冗余。根据本试验取样调查结果,高产水稻群体抽穗期根系的根冠比以 0.10 左右为好,成熟期则以 0.05 左右为好(参见表 1)。

表 1 各品种的产量构成及根冠比特征

Table 1 The yield component and root/shoot ratio with different varieties

品种 Variety	有效穗数 Effective panicles ( $10^4/\text{hm}^2$ )	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	抽穗期根冠比		成熟期根冠比
					实测产量 Actual yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	Root/shoot ratio at heading stage	Root/shoot ratio at ripening stage
广陆矮 4 号 Guang-Lu-Ai 4	20.4	90	86.67	25.9	4324.5	0.1380	0.0663
二青矮 Er-Qing-Ai	17.6	140	85.70	23.9	6507.0	0.0913	0.0542
七山占 Qi-Shan-Zhan	21.6	115	87.83	18.1	4951.5	0.1417	0.0691
粤香占 Yue-Xiang-Zhan	24.2	110	92.73	18.8	6798.0	0.1032	0.0556
粳粳 88 Jing-Xian 88	19.3	160	84.38	16.3	4663.5	0.1372	0.0758
培杂 72 Pei-Za 72	16.3	255	70.98	19.2	8020.5	0.0987	0.0521
培杂青珍 Pei-Za-Qing-Zhen	20.2	200	71.50	20.4	8215.5	0.0989	0.0517
粳粳 89 Jing-Xian 89	19.1	204	70.58	19.9	6204.0	0.1200	0.0629
丰矮占 1 号 Feng-Ai-Zhan 1	16.5	214	63.08	20.6	6150.0	0.1179	0.0581
特 3 矮 Te-San-Ai	13.9	172	66.86	28.9	7930.5	0.1068	0.0549

## 2.2 不同根袋处理对根系性状和地上部植株性状和有关生理活性的影响

### 2.2.1 对抽穗期植株性状的影响

从表 2 可看出,在不同养分条件下经过根袋处理后水稻植株的根系干重和根系体积与对照差异不大,规律性变化不明显。而根冠比均相对于对照大多显著下降,如在低浓度养分条件(N1)下,根袋处理(R3,R4,R5)的根冠比分别比对照下降 21.94%,4.64%和 18.54%;中等浓度和高浓度养分条件下也有类似的趋势。这说明通过根袋处理可以不同程度地降低根冠比,从而获得研究的条件。

在低养分浓度(N1)和中等养分浓度(N0)的条件下,适当的根袋处理的地上部干重普遍增加,因此总重有所增加。较大根系套袋处理(R5)在低浓度和高浓度养分条件下总重相对对照增加更为明显,分别增加 60%和 25%。而较小根系控制处理(R3)则植株总的干物重在中等浓度和高浓度养分条件下,比对照略有下降,但不显著。其它株高、分蘖、叶片则不同处理无明显影响。从表 2 可知,在不同养分条件下,经过根袋处理都明显降低了根系在整个植株中的比例,即降低了根冠比。根冠比下降对地上部生长影响不大甚至有一定的促进作用。

### 2.2.2 对抽穗期叶绿素和碳水化合物含量的影响

从图 2 可看出,对于叶绿素来说,叶绿素总量均无明显差别。说明经过根袋处理后,降低了植株的根冠比大小,但对叶绿素含量则无明显影响。

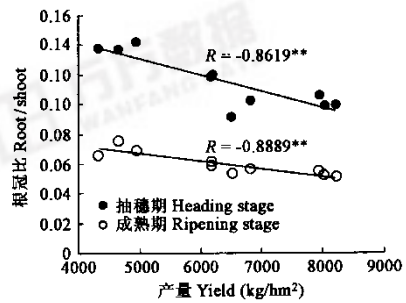


图 1 水稻不同生育时期根冠比与产量的关系

Fig. 1 The relationship between root:shoot ratio and yield at different period

表 2 不同养分条件下根袋处理对抽穗期植株性状的影响

Table 2 The effect of root confinement on plant traits at different nutrient level at heading stage

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	分蘖数 Tiller number	叶片数 leaf number	根重 Root weight (g)	地上部重 Shoot weight (g)	总重 Total weight (g)	根冠比 Root/shoot ratio	根冠比下降 Root/shoot ratio reduction (%)
N1-R3	93.8a	10.0a	56.5a	1.29b	14.32a	15.61b	0.0943	21.94
N1-R4	96.5a	8.5a	44.5b	1.65ab	14.45a	16.09b	0.1152	4.64
N1-R5	96.0a	10.0a	50.5ab	1.92a	19.47a	21.39a	0.098	15.54
N1-R0	92.6a	10.0a	45.0b	1.44b	11.92b	13.35b	0.1208	
N0-R3	94.4a	9.5a	50.0a	1.40b	12.90b	14.30b	0.1084	21.51
N0-R4	98.3a	11.0a	51.5a	2.23a	19.01a	21.26a	0.1172	15.13
N0-R5	93.5a	9.5a	45.0a	1.52b	14.30b	15.82b	0.1071	22.45
N0-R0	89.5a	11.5a	56.5a	1.63b	13.35b	14.98b	0.1381	
N2-R3	95.3a	9.0a	51.0a	1.62a	15.16b	16.77a	0.1068	0.30
N2-R4	90.0a	9.5a	49.5a	1.21b	14.62b	15.82a	0.0846	21.01
N2-R5	100.0a	11.0a	57.5a	1.98a	20.73a	22.70a	0.0950	11.30
N2-R0	94.7a	10.0a	51.5a	1.75a	16.34b	18.09a	0.1071	

N1 低浓度养分 low nutrient concentration; N0 中等浓度养分 medium nutrient concentration (对照, CK); N2 高浓度养分 high nutrient concentration; R3, R4, R5 表示直径分别为 3, 4, 5cm 的根袋处理, R0 表示不套根袋, The diameters of the root bags were 3cm(R3), 4cm(R4), 5cm(R5) respectively and the height was 25cm, R0 was control without nylon bag; 下同 the same below

根袋处理在不同养分条件下茎鞘贮藏性碳水化合物(可溶性糖和淀粉)含量均比对照的要高,主要是可溶性糖的含量的提高(见图 3)。如在低浓度养分条件下,经过根袋处理(R3、R4、R5)的贮藏性碳水化合物含量分别为 4.04%, 4.81%, 4.73%, 显著高于对照(R0)的 3.26%; 而在高浓度养分条件下,除较小根袋处理(R3)外,其它根袋处理(R4、R5)的茎鞘贮藏性碳水化合物含量也显著高于对照,中等浓度条件下也有类似现象。可见,不同根袋处理在不同养分水平条件下能不同程度提高抽穗期茎鞘贮存性碳水化合物的含量。

### 2.3 不同根袋处理对根系生理活性的影响

#### 2.3.1 对抽穗期根系生理活性的影响

根系的总吸收面积、活跃吸收面积是反应根系活性大小和吸收范围的一个重要指标。从表 3 可看出,在不同养分条件下,根袋处理后根系的总吸收面积、活跃吸收面积、活跃吸收面积所占比例均有明显提高,不套根袋的处理(R0)大都为最小或较小值。而且在不同养分浓度条件下,较大根袋处理(如 R4、R5)相对于较小根袋处理(R3)在根系总吸收面积、活跃吸收面积方面比对照(R0)增加的幅度要大。随养分浓度的增加,不同根袋处理的根系总吸收面积和活跃吸收面积有下降趋势,说明在养分充足条件下抽穗期植株竞争养分程度下降,根表面积适应性减小。

根系的比表面积是单位体积根系吸收面积的大小,它反映根系的相对根粗大小,比表面积越大,根系直径越小越细。不同根袋处理对养分浓度反应不一,在低浓度养分条件下(N1),经过根袋处理(R3、R4、R5)后比表面积均有增加,分别增加 16.35%, 41.51%, 2.52%, 除 R5 根袋处理增加不明显外,其他均显著增加,因此根袋处理后根系直径变细变小。根系吸收水分和养分最活跃的部分是根尖端、根毛、细根,因此根系直径变小在养分不足时有利于对水分和养分的吸收。

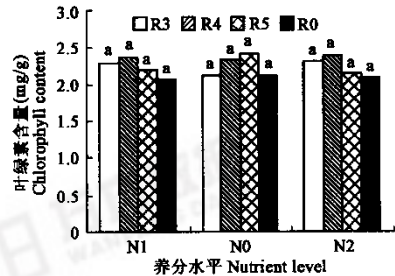


图 2 根袋处理对叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of root confinement on chlorophyll content under different nutrient levels

表 3 根袋处理后抽穗期根系对不同养分水平的反应

Table 3 The effects of confined root system activity at different nutrient level at heading stage

处理 Treatment	总吸收 面积 TSA (m <sup>2</sup> )	活跃吸 收面积 ASA (m <sup>2</sup> )	活跃吸 收比例 ASA/TSA (%)	比表面积 TSA/V (m <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	体积 V (cm <sup>3</sup> )
N1-R3	5.78b	2.69a	46.61a	0.37b	15.6a
N1-R4	7.70a	2.52a	32.75b	0.45a	17.1a
N1-R5	6.54a	3.03a	46.36a	0.33b	20.1a
N1-R0	5.32b	2.05b	38.47b	0.32b	16.7a
N0-R3	3.50b	1.45b	41.48a	0.19b	18.4b
N0-R4	5.86a	2.91a	49.71a	0.25ab	23.8a
N0-R5	4.52a	2.32a	51.32a	0.29a	15.7b
N0-R0	4.24ab	1.08b	25.33b	0.33a	13.0b
N2-R3	2.68b	0.94b	35.06ab	0.16b	16.8a
N2-R4	2.78b	1.16ab	41.73a	0.18b	15.4a
N2-R5	5.45a	1.55a	28.46b	0.32a	17.3a
N2-R0	2.82b	0.89b	31.55ab	0.18b	15.7a

TSA Total surface area; ASA Active surface area; V Volume, 下同, the same below

后比表面积与不套根袋相比差异不大或略有下降,如对照为 0.33 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>,而其它 3 种根袋处理(R3,R4,R5)分别为 0.19,0.25,0.29 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>,根袋越小,比表面积越小。中等养分浓度下,根冠比减小后根的活跃吸收面积上升,但比表面积所表征的根的粗细变化不大。

2.3.2 对成熟期根系生理活性的影响 从表 4 可知,不同根袋处理当植株处于成熟期时,低浓度养分条件(N1)下根系总吸收面积有明显下降趋势,而中等浓度(N0)和高浓度(N2)养分条件下则略有降低,但未达到显著水平;根系活跃吸收面积则以 R4 根袋处理在低浓度和高浓度条件下有下降趋势,中等浓度没有显著变化,其它根袋处理(R3,R5)与对照相比无明显差别;活跃吸收面积所占比例 R5 根袋处理与对照相比在低浓度和高浓度条件下有显著增加,其它差别不大。如在低浓度养分条件下,对照为 29.0%,R3、R4、R5 根袋处理分别为 35.8%,28.6%,45.4%。不同根袋处理的根系比表面积在低浓度养分条件下略有下降,而在高浓度条件下略有上升,总体上差异不大。说明不同根袋处理在成熟期对比表面积影响不大。

3 讨论

3.1 抽穗期和成熟期根冠比与产量呈极显著和显著的负相关关系,说明根系在一定范围内所占同化物的比例越小,产量越高。Passioura 提供的证据表明<sup>[10]</sup>,根系是吸收水肥的主要器官,与地上部相比,生产相同的单位干物质量需要的能量是地上部的两倍,许多作物的根系可能有些过大。而且如果根系适当变小,将会有更多的同化产物分配到地上部,这对于谷物产量是十分有利的。从本实验结果来看,根冠比大的品种由于过多地与地上部竞争光合产物,从而减少了地上部碳水化物的分配比例,甚至影响同化产物向穗部的转移,从而使产量受到影响。如品种七山占和粳粳 88 抽穗期根冠比分别为 0.1417 和 0.1372,为所有品种中较高的,而产量则分别为 4951.5 kg/hm<sup>2</sup> 和

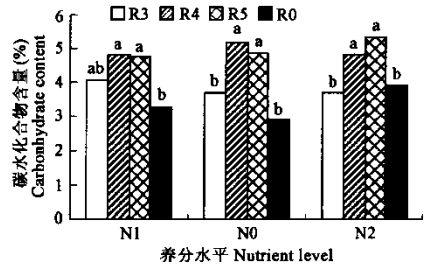


图 3 根袋处理对茎鞘贮存性碳水化合物含量的影响

Fig. 3 Effects of root confinement carbohydrate content in stem and sheath reserve under different nutrient levels

在中等浓度和高浓度养分条件下,根系套袋与不套袋的规律与低浓度相比有所不同。在高浓度养分(N2)条件下除 R3 和 R4 根袋处理与对照的比表面积相比差异不大外,R5 根袋处理则明显比对照显著上升。而中等养分浓度(N0)条件下,经过根袋处理后比表面积与不套根袋相比差异不大或略有下降,如对照为 0.33 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>,而其它 3 种根袋处理(R3,R4,R5)分别为 0.19,0.25,0.29 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>,根袋越小,比表面积越小。中等养分浓度下,根冠比减小后根的活跃吸收面积上升,但比表面积所表征的根的粗细变化不大。

表 4 根袋处理后成熟期根系对不同养分水平的反应

Table 4 The effects of confined root system activity at different nutrient level at ripening stage

处理 Treatment	总吸收 面积 TSA (m <sup>2</sup> )	活跃吸 收面积 ASA (m <sup>2</sup> )	活跃吸 收比例 ASA/TSA (%)	比表面积 TSA/V (m <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	体积 V (cm <sup>3</sup> )
N1-R3	7.97b	2.78ab	35.8b	0.29ab	27.8a
N1-R4	6.52b	1.86b	28.6b	0.25b	26.8a
N1-R5	6.96b	3.13a	45.4a	0.21b	33.6a
N1-R0	11.31a	3.28a	29.0b	0.34a	33.7a
N0-R3	6.35a	2.63a	43.2a	0.26a	24.8b
N0-R4	7.65a	3.31a	44.2a	0.22a	35.6a
N0-R5	7.36a	3.52a	48.1a	0.28a	25.9b
N0-R0	9.52a	3.88a	42.8a	0.27a	35.2a
N2-R3	8.37a	3.98a	47.9a	0.31a	27.3b
N2-R4	8.97a	2.86b	31.9b	0.32a	27.9b
N2-R5	9.44a	4.25a	46.1a	0.22a	43.9a
N2-R0	11.60a	4.48a	38.5ab	0.29a	40.1a

4663.5 kg/hm<sup>2</sup>, 相对较低。所以根据本实验推断根冠比大的品种存在根系方面的生长冗余, 产量较低, 适当降低根系大小有利于产量的提高。但并不是根冠比越小, 产量越高, 而是存在一个适当的范围。从本实验结果来看, 根据所选择的水稻品种, 抽穗期植株的合理根冠比以 0.10 左右为好, 成熟期则为 0.05 左右为好。

3.2 在不同氮素养分条件下, 不同根袋处理限制根系生长空间后, 根冠比明显降低。一般根袋越小, 根系干重就越小, 根冠比越低。根冠比下降后对于水稻植株性状(如株高、分蘖、叶片数等)无明显影响, 而对于干物质积累方面, 植株总重差异变化不大。根冠比在减小的同时根系活性吸收面积在抽穗期有不同程度的增加, 茎鞘贮存性碳水化合物含量增加, 叶绿素含量则无明显影响, 不同养分条件下均有这种现象。但并不是根冠比越小, 根系活性吸收能力越强。从本实验结果来看, 在抽穗期一般是较大根袋处理(R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub>)效果较为明显, 而根袋太小的处理(R<sub>3</sub>)则根系吸收能力降低, 即 R<sub>5</sub>>R<sub>4</sub>>R<sub>0</sub>>R<sub>3</sub>。可见在不同养分供应条件下, 较大根袋处理在降低根冠比的同时却增加了根系的吸收能力, 促进水稻作物的生长发育, 提高根系活跃吸收及活力, 使更多的同化产物转移到地上部分, 从而促进产量的提高。这种根系活力的提高是否与根系内部的激素以及根冠之间的信号有关, 有待进一步研究。已有研究证明, 植物根系在处于逆境条件下, 如土壤紧实、机械阻碍、干旱等, 能感应周围的土壤环境, 快速合成和通过木质部蒸腾流输出逆境信号 ABA 到达地上部, 并调节地上部生理过程<sup>[17~19]</sup>。

3.3 根系是吸收养分的最主要器官, 它的竞争能力与根系养分吸收特性如根密度、表面积、构型、可塑性等密切相关, 根系的竞争激烈程度随着养分的增加而逐渐降低<sup>[20]</sup>。从本实验结果来看, 在抽穗期随养分浓度的增加, 不同根袋处理在抽穗期的根系总吸收面积和活跃吸收面积有下降趋势, 说明在养分充足条件下根系竞争程度下降, 根系表面积减小。这也说明在高水肥条件下根系表面积可以不必那么小, 适当减小根冠比大小即减小根系的冗余有利于向地上部分分配更多的光合同化产物。有关研究认为, 用总根长和根尖数来衡量根系大小时, 较小的根系具有较小的资源获取潜力, 但具有较高的资源获取效率; 相反, 较大的根系具有较大的资源获取潜力, 但具有较低的效率<sup>[21]</sup>。因此, 在现代水肥条件良好的前提下, 适当减小根系大小, 可以提高资源获取的效率从而弥补了根系在获取资源潜力方面的不足。

## References:

- [1] Wang Y L, Cai J Z, He J S. The relationships between spikelet-root activity and grain filling and ripening in rice (*Oryza sativa*). *Acta Agronomica Sinica*, 1992, **18**(2):81~89.
- [2] Lilley J M., Fukai S. Effect of timing and severity of water deficient on four diverse rice cultivars: I. Rooting pattern and soil water extraction. *Field Crop Research*, 1994, **37**(3):205~213.
- [3] Yamazaki K. Root system formation and relation to grain yield in rice plants. *Korean Journal of Crop Science*, 1989, **34**(4):449~459.
- [4] Li H, Zhang D Y. Morphological characteristics and growth redundancy of spring wheat root system in semi-arid regions. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1999, **10**(1):26~30.
- [5] Zhang D Y, Jiang X H, Zhao S L. An ecological analysis of growth redundancy in root systems of crops under drought conditions. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 1995, **15**(5):110~114.
- [6] Zhang D Y, Jiang X H. An ecological perspective on crop production. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(3):383~384.
- [7] Zhang R, Zhang D Y, Yuan B Z. A study of relationship between competitive ability and productive performance of spring wheat in semi-arid regions of loess plateau. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1999, **23**(3):205~210.
- [8] Zhang R, Zhang D Y. A comparative study on root redundancy in spring wheat varieties released in different years in semi-arid areas. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(3):298~303.
- [9] Graham E, Bobel P S. Root water uptake, leaf water storage and gas exchange of a desert succulent; implications for root system redundancy. *Annals of Botany*, 1999, **84**:213~223.
- [10] Passioura J B. Roots and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 1983, **7**:265~2780.

- [11] Steen E. Usefulness of the mesh bag method in quantitative root studies. In: Atkinson D, ed. *Plant root growth: an ecological perspective*. Blackwell, Oxford, 1991. 75~86.
- [12] Wu Y X, Wu Z Q. Effects of soil temperature profile on the growth development and metabolic activity of interspecific hybrid rice root systems. 1995, **21**(3):218~225.
- [13] Zhang X Z. *Methods of Studying Crop Physiology*. Beijing: Agriculture Press, 1992.
- [14] Zhang Z L. *Experimental Guide in Plant Physiology*. Beijing: China Higher Education Press, 1988. 62~64, 160~162.
- [15] Yoshida S, Forno D A, Cook J H. *Laboratory manual for physiological studies of rice*. IRRI, Los banos, Philippines, 1976. 83.
- [16] Liu Q, Luo Z M, Rong X M. Study on the effects of spraying double-acid fertilizer on metabolic function and yield of rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, **31**(5):13~18.
- [17] Passioura J B. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1988, **15**:687~693.
- [18] Ternes M, Andrade A P, Jorin J. Root-shoot signaling in sunflower plants with confined root systems. *Plant and Soil*, 1994, **166**, 31~36.
- [19] Zhang J and Davies W J. Does ABA in the xylem control the rate of leaf growth in soil-dried and sunflower plants. *J. Exp. Bot.*, 1990, **41**, 1125~1132.
- [20] Casper B B and Jackson R B. Plant competition underground. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1997, **28**:545~570.
- [21] Gerntson G M. Modelling root architecture: are there tradeoffs between efficiency and potential of resource acquisition. *New Phytologist*, 1994, **127**(3):483~493.

#### 参考文献:

- [1] 王余龙, 蔡建中, 何杰升, 等. 水稻颖花根活力与籽粒灌浆结实的关系. *作物学报*, 1992, **18**(2):81~89.
- [4] 李话, 张大勇. 半干旱地区春小麦根系形态特征与生长冗余的研究. *应用生态学报*, 1999, **10**(1):26~30.
- [5] 张大勇, 姜新华, 赵松龄, 等. 半干旱区作物根系生长冗余的生态学分析. *西北植物学报*, 1995, **15**(5):110~114.
- [6] 张大勇, 姜新华. 关于作物生产的生态学思考. *植物生态学报*, 2000, **24**(3):383~384.
- [7] 张荣, 张大勇, 原保忠. 半干旱区春小麦品种产量表现与竞争能力关系的研究. *植物生态学报*, 1999, **23**(3):205~210.
- [8] 张荣, 张大勇. 半干旱区不同年代春小麦品种根系生长冗余的比较实验研究. *植物生态学报*, 2000, **24**(3):298~303.
- [12] 吴岳轩, 吴振球. 土壤温度对亚种间杂交稻根系生长发育和代谢活性的影响. *湖南农学院学报*, 1995, **21**(3):218~225.
- [13] 张宪政. *作物生理研究法*. 北京: 农业出版社, 1992.
- [14] 张志良编. *植物生理学实验手册*. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [16] 刘强, 罗泽民, 荣湘民, 等. 喷施双酸肥对水稻代谢机能及其产量影响初探. *中国农业科学*, 1999, **31**(5):13~18.