

水和磷互作对红壤丘岗地区旱作水稻生物量和产量的影响^{*}

何园球¹ 李成亮¹ 王兴祥¹ 熊又升¹ 沈其荣²

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要 通过盆栽和大田试验研究了水和磷互作对旱作水稻生物量和产量的影响。研究表明:土壤含水量和施磷量对旱作水稻生物量和产量有极显著的影响,且二者的交互作用十分明显,影响程度以籽粒>茎>根。土壤含水量为饱和持水量的60%时对旱作水稻生物量和产量影响较大,而80%和100%时几乎没有影响。旱作水稻生物量和产量均随施磷量的增加而增加。这说明控制土壤水分饱和持水量的80%时就能完全满足旱作水稻的生长,但要求获得较高的产量时必须注意磷肥的投入,或者采取一些调控措施提高土壤磷的利用率。

关键词 红壤丘岗地区;水磷互作;水稻旱作;生物量和产量

中图分类号 S 157.4 **文献标识码** A

在我国红壤丘陵地区,频繁的季节性干旱,影响了土壤水分和养分有效性的发挥,从而影响作物的种植方向和产量。一些高塆田和水源不充足的地方进行常规淹水种稻十分困难,同时,从长远来说,南方缺水的压力依然存在,因此,迫切需要探讨节水灌溉条件下而同样能获得较高产量的方法和措施。对于养分来说,传统的施肥方法只注重N、P、K的施用,造成土壤中磷的大量富集,一方面使磷肥的作用不能发挥,另一方面,在一些地区对水体产生巨大的污染压力^[1]。水稻是我国的主要粮食作物,传统的栽培方式一生大部分时间处于田间持水量的90%以上,消耗了大量农业用水,且灌溉水利用率低。我国水稻的水分利用效率低于 2.00 kg m^{-3} ,而以色列最高达 2.32 kg m^{-3} ^[2]。水稻旱作栽培技术起源于日本,20世纪70年代末,我国辽宁、吉林省最先开始试种,此后我国北方其他地区相继开展了水稻旱作栽培方式和栽培技术的试验研究,获得了比较满意的进展。但关于红壤丘岗地区水和磷对旱作水稻生物量和产量的影响及其高产条件下的水磷管理的研究,迄今未见系统报道。因此,研究水稻旱作条件下土壤水分和磷素对旱作水稻生物量和产量的影响,不仅能揭示红壤水分和磷素的交互作用,更能为南方丘陵地区推广水稻旱作的合理用水和磷素管理

提供理论依据^[3-6]。

1 材料与方法

土壤样品为第四纪红粘土发育的栽种10 a水稻后所形成的轻度发育的水稻土,采自中国科学院红壤生态试验站,采集后的土壤样品风干,过0.5 mm筛备用。供试土壤的基本性质:pH为4.80;有机碳含量为 5.10 g kg^{-1} ,全N为 0.61 g kg^{-1} ,全P为 0.73 g kg^{-1} ,全K为 15.4 g kg^{-1} 。分为水稻盆栽试验(大钵:土 7.0 kg pot^{-1} ,全生育期试验;小钵:土 2.5 kg pot^{-1} ,30 d和60 d;施磷量(P)分为0、0.0075、0.015和 0.030 g kg^{-1} 四个水平)和大田试验(小区面积为 $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,施磷量(P)分为0、2.625、5.250和 $10.50 \text{ g plot}^{-1}$ 四个水平)两部分。四种磷水平分别称为无磷(P₀)、低磷(P₁)、中磷(P₂)和高磷(P₃)。所用磷肥盆栽实验为KH₂PO₄,大田实验为过磷酸钙,含磷量(P₂O₅)为16%。土壤水分含量设置为土壤饱和持水量的60%(W₁)、80%(W₂)和100%(W₃)。所有实验均施等量的尿素(N, 100 mg kg^{-1})和氯化钾(K, 100 mg kg^{-1})。

实验用水稻品种为当地高产优质的赣优2号,盆栽实验于2001年5月10日播种,大钵共45盆

* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-413, ISSASIP0201)资助

作者简介:何园球(1955~),男,博士,研究员,长期从事农业生态学方面的研究。Tel: 025-86881532; E-mail: yqhe@mail.issas.ac.cn

收稿日期:2004-06-22;收到修改稿日期:2004-12-26

为全生育期实验,每钵播种 4 穴,每穴两粒种子,小钵共 90 盆分为两组,其中 45 盆出苗后 30 d 时取出,其他 60 d 时取出,每钵播种 3 穴,每穴两粒种子;大田于 2001 年 7 月 17 日播种,成熟时收割,每小区播种 120 穴,每穴两粒种子,水稻生长到两片叶时每穴只保留一株幼苗;各实验在播种后均用稻草覆盖表土。每个处理均为 3 次重复,同时,加了一组无作物处理作为对照;根据上述饱和持水量,每天加水一次(盆栽试验用精度为 0.1 g 的天平称重,大田则安装中国科学院南京土壤研究所生产的测水笔)。

水稻样品取出后,仔细地洗净水稻根上的泥土,然后把茎和根分开,用蒸馏水冲洗干净,在 70℃ 的条件下烘干称重。

2 结 果

2.1 水和磷对盆栽旱作水稻生物量和产量的影响

2.1.1 土壤水分含量对盆栽旱作水稻生物量和产量的影响 表 1 说明,当施磷量(P)为 0.015 g kg⁻¹时,土壤水分对旱作水稻生物量的影响,在 30 d 时以中水最大,低水时最小;60 d 和 120 d 时生物量基本是随着饱和持水量的增加而增加,但低水与中水间差异大,中水与高水间差异较小。统计结果表明,土壤水分对旱作水稻茎生物量和籽粒产量的影响没有达到极显著水平,对生长 30 d 和 60 d 的根生物量影响达到极显著,对 120 d 的影响不显著。但土壤含水量为饱和持水量的 60% 时,对旱作水稻根茎生物量和籽粒产量影响较大,而 80% 和 100% 时水稻的生物量和产量的差异很小。这是因为适当的水分使土壤保持良好的通气状况,有利于养分的转化和供给,使水肥间发挥良好的协同效应。土壤中磷含量较低,发达的根系对磷的吸收能力强,根生长旺盛而影响茎秆的生长。石岩等^[7]、程宪国等^[8]、山仑等^[9]和 Li 等^[10]研究了水和磷对小麦生物量的影响,结果表明:当土壤水分严重缺乏时,施磷的作用较小而补充水分的作用更大,而水分不太缺乏时,施磷的作用很大。这说明在保证一定施磷量的条件下,控制土壤水分饱和持水量的 80% 时就能完全满足旱作水稻的生长,这也说明红壤丘岗地区的自然降水基本上可以满足旱作水稻的生理需求,因而在该地区进行水稻旱作是完全可能的^[11,12]。

表 1 中磷(P, 0.015 g kg⁻¹)条件下土壤水分对旱作水稻生物量的影响

Table 1 Effect of soil moisture on biomass and yield of rice cultivated in aerobic soil with middle P application

水稻生长时间 Rice growth (d)	土壤含水量 Soil moisture (%)	根 Root biomass (g pot ⁻¹)	茎 Shoot biomass (g pot ⁻¹)	籽粒 Weight of rice (g pot ⁻¹)
30	W ₁ (60)	0.47b	1.69a	
	W ₂ (80)	0.91a	2.22a	
	W ₃ (100)	0.69ab	1.80a	
60	W ₁ (60)	3.24c	11.23a	
	W ₂ (80)	5.11b	11.51a	
	W ₃ (100)	6.24a	11.96a	
120	W ₁ (60)	16.03a	41.53a	31.67a
	W ₂ (80)	17.90a	42.85a	34.30a
	W ₃ (100)	15.64a	43.33a	34.93a

注:同一列内不同字母表示差异显著水平达 0.05,下表同

Note: With each column, values followed by the same letter are not significantly different at 0.05 level, so is it in the following tables

2.1.2 施磷量对盆栽旱作水稻生物量和产量的影响 从表 2 可以看出,当土壤含水量为饱和持水量的 80% 时,旱作水稻根、茎生物量和产量随着施磷量的增加而增加。对根而言,在 30 d 和 60 d 时不同施磷量间生物量差异较大,120d 时只是施磷与

表 2 中水(饱和持水量的 80%)条件下施磷量对旱作水稻生物量和产量的影响

Table 2 Effect of P fertilization on biomass and yield of rice cultivated in aerobic soil medium in soil moisture

水稻生长时间 Rice growth (d)	施磷量 P applied (P, g kg ⁻¹)	根 Root biomass (g pot ⁻¹)	茎 Shoot biomass (g pot ⁻¹)	籽粒 Weight of rice (g pot ⁻¹)
30	P ₀ (0)	0.25c	0.46c	
	P ₁ (0.0075)	0.65bc	1.63b	
	P ₂ (0.015)	0.91ab	2.22ab	
	P ₃ (0.030)	1.17a	2.44a	
60	P ₀ (0)	2.16c	4.32b	
	P ₁ (0.0075)	5.39ab	11.16a	
	P ₂ (0.015)	5.11b	11.51a	
	P ₃ (0.030)	5.89a	12.65a	
120	P ₀ (0)	8.49b	19.68c	10.57d
	P ₁ (0.0075)	17.22a	41.62b	25.03c
	P ₂ (0.015)	17.90a	42.85b	34.30b
	P ₃ (0.030)	18.05a	46.99a	38.57a

不施磷间差异大,不同施磷量间差异很小;对茎而言,在 30 d 和 120 d 时不同施磷量间生物量差异较大,60 d 时则只是施磷与不施磷间生物量差异大,不同施磷量间差异很小;对籽粒而言,不同施磷量间产量差异很大。这是因为水稻苗期根系不发达,对磷的吸收力不强,中后期水稻生长旺盛,尽管土壤中磷含量较低,但由于发达的根系对磷的吸收能力强,因而施磷量的高低对水稻根系生物量影响不大,但对茎秆和籽粒的影响较大,当有足够的磷供应时,水稻的生物量就高。这说明在中水条件下,施磷量对旱作水稻根、茎生物量和产量均产生极显著的影响,因而在红壤丘岗地区进行水稻旱作在要求获得较高的产量时必须注意磷肥的投入,或者采取一些调控措施提高土壤磷的利用率。

2.1.3 土壤水分含量和施磷量对盆栽旱作水稻根茎比的影响

图 1 说明了水和磷对旱作水稻不同

时期根/茎比的影响 水分和磷对旱作水稻生长前期和中期根/茎比的影响为极显著,对生长后期则没有明显的影响。在生长前期,不同水和磷处理中旱作水稻的根/茎比均以不施磷时最高,土壤饱和持水量为 80%~100%时,高磷、中磷和低磷处理的根/茎比差异很小,为 60%时随着供磷水平的提高根/茎比上升;在中后期,同一土壤含水量随施磷量的减少旱作水稻的根/茎比上升,同一施磷量随土壤含水量的降低根/茎比中期下降,后期上升。

当水肥不足时,旱作水稻根系能够充分吸收土壤中的水分和养分满足自己的发育,而茎秆则相对生长较慢,从而使根/茎比降低;水肥充足时,在中后期旱作水稻根系已基本发育完善,同时受实验容器的限制不能无限生长,因而变化不大,而茎秆则能继续生长,从而使根/茎比增加。

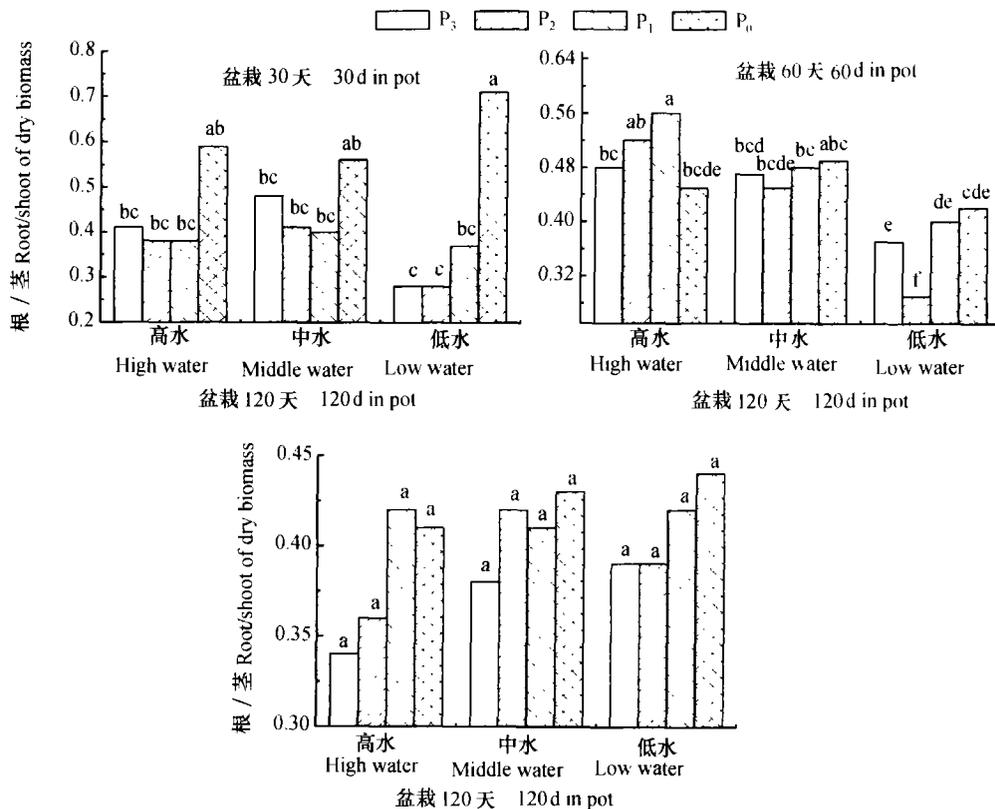


图 1 盆栽旱作水稻生物量烘干重的根茎比

Fig. 1 Root/shoot in dry biomass of rice cultivated on aerobic condition in the pot experiment

2.1.4 水和磷交互对盆栽旱作水稻生物量和产量的影响 土壤水分和施磷量对盆栽旱作水稻生物量和产量有极显著的影响,且二者间的交互作用十分明显(表 3)。对根而言,水和磷的影响极显著,二者在 30 d 和 60 d 时有明显的交互作用,但在 120 d

时交互作用不明显。对茎和籽粒而言,磷的影响极显著,水除 60 d 时茎的影响不显著外,其他均为极显著;二者间除对苗期时茎生物量的交互作用不明显外,对其他均表现明显的交互作用。这说明,水和磷对其生物量的交互作用影响程度以籽粒 > 茎 >

根。汪德水^[13]、康绍忠等^[3]、梁白丽等^[14]、赵彦锋等^[15]和 He 等^[16]在研究玉米、小麦后认为:水肥间

存在协同效应,施磷对提高作物抗旱能力、提高水分利用率有明显的效果。

表 3 水和磷对旱作水稻生物量的影响

Table 3 Effect of soil water and P fertilization on biomass and yield of rice cultivated in aerobic soil

变异分析 Variances analysis	30 d		60 d		120 d		籽粒 Grain
	根	茎	根	茎	根	茎	
	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	
施磷量 P Supply (P)	< 0.01 ¹⁾	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
水分水平 Water (W)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.14	< 0.05	< 0.01	< 0.05
水磷交互作用 P×W	< 0.01	0.70	< 0.01	< 0.01	0.76	< 0.01	< 0.05

1) 表示用新复极差测验多重比较(Duncan's) $p < 0.01$ 水平无显著性差异,下表同 Duncan's values, so is it in the following tables Means that the differences between the treatments are less than

总体来说,旱作水稻在生长前期(30 d),其根茎生物量随供磷水平的增加而增加,以施磷量(P)为 0.0300 g kg^{-1} 和土壤饱和持水量为 80% 时最高。在生长中期(60 d),在施入一定量的磷后,对旱作水稻根茎生物量产生强烈影响的主要因素是水,而不是施磷量,即施磷与不施磷间生物量差异大,不同施磷水平间差异很小,低水与中高水间生物量差异大,而中水与高水间差异很小,但以高水处理生物量较高。在生长的后期(120 d),当土壤含水量为饱和持水量的 80% 时,水稻根、茎生物量和产量随着供磷水平的提高而提高,但对根生物量而言,供磷水平间差异很小;对茎而言,低磷与中高磷间差异较大,中磷与高磷间差异很小;对产量而言,不同施磷水平间特别是低磷和中磷间差异很大。

2.2 水和磷对大田旱作水稻生物量和产量的影响

2.2.1 土壤水分含量对大田水稻生物量和产量的影响

表 4 说明,当施磷量(P)为 $5.250 \text{ g plot}^{-1}$ 时,土壤含水量对旱作水稻根和茎生物量的影响达到了显著水平,而对籽粒的影响不显著。水稻根、茎生物量和籽粒产量均以饱和持水量为 80% 时最高,以 60% 时最低。但低水和中水间根和茎生物量差异较大,中水和高水间差异较小;对产量而言,低水和高水时几乎一致。说明在保证中磷条件下,在南方丘陵地区进行水稻旱作能够获得较高的产量。该结果与盆栽实验相比存在一定差异特别是在旱作水稻生长后期存在较大差异,主要有两方面的原因:一是盆栽实验使用的钵钵较小,在一定程度上限制了旱作水稻根系的生长;同时盆栽条件下使用天平测定土壤水分,误差很小(7 kg 土误差仅为 1 g),大田条件下则用测水笔测定,误差较大,且有明显的滞后效应。

表 4 中磷($P, 5.250 \text{ g plot}^{-1}$)时土壤水分

对旱作水稻生物量的影响(120 d)

Table 4 Effect of soil moisture on biomass of rice cultivated in aerobic soil medium in P fertilization (120 d)

土壤含水量 Soil moisture (%)	根 Root biomass (g plot^{-1})	茎 Shoot biomass (g plot^{-1})	籽粒 Weight of rice (g plot^{-1})
W ₁ (60)	479.9h	1 174b	1 068a
W ₂ (80)	549.2a	1 479a	1 232a
W ₃ (100)	524.7a	1 319ab	1 099a

表 5 中水(饱和持水量的 80%)条件下施磷量

对旱作水稻生物量的影响(120 d)

Table 5 Effect of P fertilization on biomass of rice cultivated in aerobic soil medium in soil moisture (120 d)

施磷量 P application ($\text{P}, \text{g kg}^{-1}$)	根 Root biomass (g plot^{-1})	茎 Shoot biomass (g plot^{-1})	籽粒 Weight of rice (g plot^{-1})
P ₀ (0)	434.6d	1 390b	1 069c
P ₁ (0.0075)	489.8c	1 466b	1 173bc
P ₂ (0.015)	549.2b	1 479b	1 232b
P ₃ (0.030)	631.0a	1 769a	1 608a

2.2.2 施磷量对大田水稻生物量和产量的影响

当土壤含水量为饱和持水量的 80% 时,施磷量对水稻根、茎生物量和产量产生显著的影响,以根的影响最大,产量次之,茎的影响最小。总体来说,水稻根、茎生物量和产量均随施磷量的增加而显著增加;但施磷量从无磷到中磷时根生物量和籽粒产量尽管有显著差异,但增加的幅度较小,而茎生物量虽有一定的增加但差异不显著;施磷量为高磷时,根茎生物量和籽粒产量与无磷到中磷时相比差异极显著,且增加的幅

度很大(表 5)。这也说明,在红壤丘岗地区进行水稻旱作时,必须注意多施磷肥以提高作物的产量。

2.2.3 水分和磷对大田旱作水稻根茎比的影响

图 2 说明了大田试验条件下水和磷对旱作水稻根/茎比的影响。从该图可以看出,水和磷各自对旱作水稻的根茎比都没有显著的影响,但二者间的交互作用影响显著。与盆栽条件下的结果进行比较,大田试验条

件下,在高、中水处理条件下与盆栽的结果相反,但低水处理时的趋势一致。这是因为大田土壤土层深厚,在良好的水肥条件下根系可以继续生长。说明在大田条件下,施用高量磷肥也不足以满足作物根系对红壤磷素的获取,而在盆栽条件下,由于作物根系密度大,高量磷肥没能显示出效应,这就是盆栽与大田试验差异的根本所在。

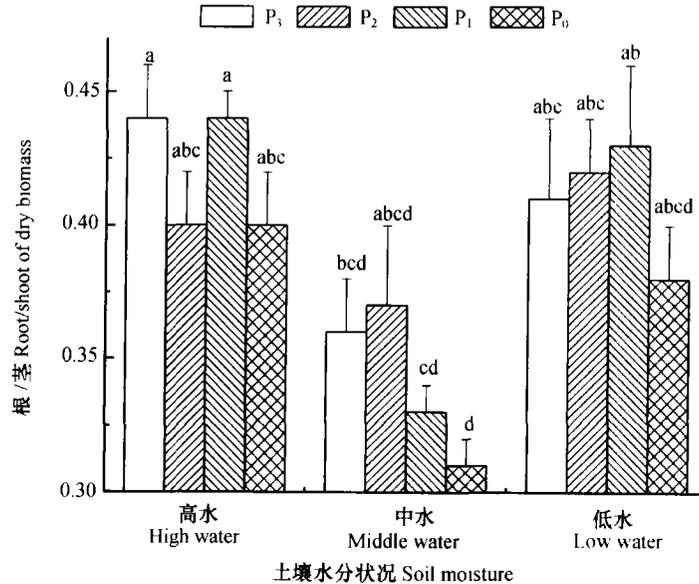


图 2 大田旱作水稻生物量烘干重的根茎比

Fig. 2 Root/shoot in dry biomass of rice cultivated in aerobic soil in the field experiment

2.2.4 水和磷交互对大田水稻生物量和产量的影响 表 6 说明了土壤水分和施磷量对旱作水稻根、茎生物量和产量的影响。对根而言,磷有极显著的影响,水的影响不显著,水和磷间的交互作用极显著。对茎和籽粒而言,水和磷各自对其生物量的影响极显著,但二者间的交互作用茎不显著籽粒则显著(表 6)。这说明水和磷间存在协同效应,施肥特别是施磷肥在提高产量的同时对提高作物的抗旱能力和土壤水分的利用效率都有明显的影响,而不同的水分水平对矿质养分在土壤和作物体内的运移有重要的促进作用,因而能满足水稻幼苗期以蒸发消耗中后期以蒸腾消耗为主的水分需求,最终获得最大的生物产量。这与中国干旱地区的一些研究结果完全一致^[3, 8, 13-15]。不同养分(NPK)的配合施用也可以达到这样的效果^[17]。

总体来说,旱作水稻生物量和产量是随着施磷量的增加而增加,以土壤含水量为饱和和持水量的 80% 时最高,但从无磷到低磷时差异很小,低磷到中磷和高磷时差异很大。这也说明在红壤丘岗地区进

行水稻旱作时,在保证中等水分供应时,施入高磷就能获得高产。

表 6 水分和磷对旱作水稻生物量的影响

Table 6 Effect of soil water and P fertilization on biomass of rice cultivated in aerobic soil

变异分析 Variances analysis	根 Root	茎 Shoot	籽粒 Grain
施磷量 P Supply (P)	< 0.01	< 0.01	< 0.01
水分水平 Water (W)	0.06	< 0.01	< 0.01
水磷交互作用 P × W	< 0.01	0.06	< 0.05

3 结 论

土壤含水量和施磷量对旱作水稻生物量和产量的影响极显著,且二者的交互作用十分明显,影响程度以籽粒 > 茎 > 根。

在中磷(P, 0.015 g kg⁻¹)的条件下,土壤含水量为饱和和持水量的 60% 时对旱作水稻根茎生物量和籽粒产量,而 80% 和 100% 时对水稻的生物量和

产量几乎没有影响,说明在保证一定施磷量的条件下,控制土壤水分饱和持水量的 80% 时就能完全满足旱作水稻的生长,这也说明红壤丘岗地区的自然降水基本上可以满足旱作水稻的生理需求,因而在该地区进行水稻旱作是完全可能的。

在土壤含水量为饱和持水量的 80% 条件下,旱作水稻根、茎生物量和产量均随着施磷量的增加而增加,因而在红壤丘岗地区进行水稻旱作在要求获得较高的产量时必须注意磷肥的投入,或者采取一些调控措施提高土壤磷的利用率。

参考文献

- [1] 鲁如坤,时正元.退化红壤肥力障碍特征及重建措施Ⅲ.典型地区红壤磷素积累及其环境意义.土壤,2001,5: 227~232. Lu R K, Shi Z Y. Constraint characteristics of fertility constraint and rebuilding measurements in degraded red earth Ⅲ. Accumulation and environmental sense of phosphorus in representative red soil region (In Chinese). Soils, 2001, 5: 227~232
- [2] 康绍忠,梁银丽,蔡焕杰,等著.旱区水-土-作物关系及其最优调控原理.北京:中国农业出版社,1998. 123~125. Kang S Z, Liang Y L, Cai H J, et al. The Relation of Water-soil-plant and Its Optimization Theory of Adaptation and Control in Drought Area (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998. 123~125
- [3] 钱晓晴,沈其荣,徐勇.不同水分管理方式下水稻的水分利用效率与产量.应用生态学报,2003,14(3): 399~404. Qian X Q, Shen Q R, Xu Y. Water utilization efficiency and yield of paddy under different water managements (In Chinese). Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(3): 399~404
- [4] 石英,沈其荣,薛泽圣,等.旱作条件下水稻的生物效应及表层覆盖对它的影响.植物营养与肥料学报,2001,7(3): 47~53. Shi Y, Shen Q R, Mao Z S, et al. Biological response of rice crop cultivated on upland soil condition and the effect of mulching on it (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(3): 47~53
- [5] 崔国贤,沈其荣,崔国清,等.水稻旱作及对旱作环境的适应性研究进展.作物研究,2002,3: 70~76. Cui G X, Shen Q R, Cui G Q, et al. Study on rice crop dry farming and its adaptability to aerobic environment (In Chinese). Crop Research, 2002, 3: 70~76
- [6] 吕家璇,张一平,张君常,等.土壤磷运移研究.土壤学报,1999,36(1): 75~82. Yu J L, Zhang Y P, Zhang J C, et al. Study on the movement of phosphorus in soil. Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(1): 75~82
- [7] 石岩,林琪,李素美,等.土壤水分胁迫对小麦养分分配及产量的影响.植物营养与肥料学报,1998,4(1): 50~56. Shi Y, Lin Q, Li S M, et al. Effect of soil water stress on nutrient distribution and yield of wheat (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 50~56
- [8] 程宪国,汪德水,张美荣,等.不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响.中国农业科学,1996,29(4): 67~74. Cheng X G, Wang D S, Zhang M R, et al. Effects of different soil moisture conditions on winter wheat growth and nutrient uptake (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 1996, 29(4): 67~74
- [9] 山仑,陈培元主编.旱地农业生理生态基础.北京:科学出版社,1998. 222~232. Shan L, Chen P Y, eds. Base on Physiological and Ecological Agriculture (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998. 222~232
- [10] Li F M, Song Q H, Liu H S, et al. Effects of pre-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions. Agricultural Water Management, 2001, 49: 173~181
- [11] 何园球,沈其荣,王兴祥,等.不同水分和施磷量对旱作水稻耗水量和水分利用率的影响.土壤学报,2003,40(6): 901~907. He Y Q, Shen Q R, Wang X X, et al. Effect of soil moisture and phosphorus supply on water consumption and water use-efficiency by paddy rice cultivated in aerobic soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(6): 901~907
- [12] 何园球,沈其荣,孔宏敏,等.水稻旱作条件下土壤水分对红壤磷素的影响.水土保持学报,2003,17(2): 5~8. He Y Q, Shen Q R, Kong H M, et al. Effect of soil moisture on phosphorus contents of red soil under rice cultivation in aerobic soil condition (In Chinese). Journal of Soil Water Conservation, 2003, 17(2): 5~8
- [13] 汪德水主编.旱地农田水肥协同效应与耦合模式.北京:气象出版社,1999. 145~148. Wang D S, ed. Cooperated Effect and Interactive Model between Water and Nutrient in Upland Field (In Chinese). Beijing: Meteorologic Press, 1999. 145~148
- [14] 梁银丽,康绍忠.限量灌水和磷营养对冬小麦产量及水分利用效率的影响.土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1): 61~68. Liang Y L, Kang S Z. Effect of irrigating-limited and phosphorus supplied on yield and water use of winter wheat (In Chinese). Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1997, 3(1): 61~68
- [15] 赵彦锋,吴克宁,李玲,等.玉米苗期调亏控水与磷协同效应研究.河南农业科学,2002,2: 4~7. Zhao Y F, Wu K N, Li L, et al. The effect of the combination of RDI and fertilizer phosphorus on maize in seedling stage (In Chinese). Agriculture Science of Henan, 2002, 2: 4~7
- [16] He Y Q, Zhu Y G, Smith S E, et al. Interactions between soil moisture content and phosphorus supply in spring wheat plants grown in pot culture. Journal of Plant Nutrition, 2001, 25(4): 913~925
- [17] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q, et al. Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils: Ⅲ. Transformations of mono-calcium phosphate. Pedosphere, 2004, 14(3): 379~386

EFFECT OF INTERACTION BETWEEN SOIL MOISTURE AND PHOSPHORUS ON RICE CULTIVATION IN AEROBIC SOIL CONDITION

He Yuanqiu¹ Li Chengliang¹ Wang Xingxiang¹ Xiong Yousheng¹ Shen Qirong²

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract Both field and pot experiments were carried out to study effects of interaction between soil moisture content and P application rates on biomass and yield of rice cultivated in aerobic soil. The results show that the effects of soil moisture content and P application rate were significant on biomass and yield of rice growing in aerobic soil, and the interactive effect of the two factors was very evident, showing a sequence of grain > shoot > root. Although the biomass and yield of rice had been hardly affected by soil moisture content, when it was 80% or 100% of saturated water content (SWC), but markedly by soil moisture content 60% of SWC. Biomass and yield of rice increased with the increasing in P application rate in the aerobic soil, showing that the soil moisture content 80% of SWC was enough to maintain rice growth in the aerobic soil. In order to gain higher yield of rice, it is essential to pay attention to P application or take some measures to improve soil P utilization efficiency.

Key words Red soil hilly area; Interaction between water and phosphorus; Rice cultivated in aerobic soil; Biomass and yield