

旱作对水稻生长及氮、磷利用效率的影响

陈 贵¹, 郭世伟², 赵国华³, 张红梅¹, 沈亚强¹, 程旺大¹

(1. 嘉兴市农业科学研究院农业生态环境研究室, 浙江 嘉兴 314016;

2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;

3. 嘉兴学院生物与化学工程学院, 浙江 嘉兴 314001)

摘要: 为了探明旱作对水稻氮、磷利用效率的影响以及产量与氮磷营养的关系, 通过温室微区试验研究了传统水作(CT)、覆膜旱作(FM)和裸地旱作(LD)下水稻产量、产量构成因子、氮磷累积、氮磷收获指数、氮磷生理利用效率等的差异。结果表明: 旱作在一定程度上阻碍了水稻生长, 降低了稻谷产量, 产量构成因子中的千粒重受旱作影响较小; FM处理的稻谷产量比CT处理下降6.47%, 但未达显著差异, 另外, 氮、磷累积量均没有受到明显影响; 然而LD处理产量的下降幅度则达14.9%, 且氮磷累积量均明显下降; 与氮磷生理利用效率相比, 水稻氮磷收获指数对旱作敏感程度更高, FM和LD处理均显著低于CT处理, 其中, LD处理下降程度更大。相关性分析表明, 水稻产量与氮素营养的相关性要高于与磷素营养的相关性。总之, FM处理能有效降低旱作对水稻生长及养分利用效率的影响, 调控好氮、磷营养, 特别是氮素营养有利于旱作条件下水稻生长及产量形成。

关键词: 水稻; 旱作; 产量; 氮; 磷; 利用效率

中图分类号: S511.01 **文献标志码:** A

Effects of upland cultivation on rice grain yield and N & P use efficiency

CHEN Gui¹, GUO Shi-wei², ZHAO Guo-hua³, ZHANG Hong-mei¹, SHEN Ya-qiang¹, CHENG Wang-da¹

(1. Development of Agricultural Ecological Environment, Jiaying Academy of Agricultural Science, Jiaying, Zhejiang 314016, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

3. College of Biological, Chemical Sciences and Engineering, Jiaying University, Jiaying, Zhejiang 314001, China)

Abstract: To investigate the effects of upland cultivation on N & P use efficiency and the relationship between grain yield and N & P nutrition, a micro-zone experiment in greenhouse was conducted to study rice grain yield, yield components, N & P accumulation, N & P harvest index, N & P physiological use efficiency, and correlation between yield and N & P nutrition under conventional floodwater cultivation (CT), film mulching cultivation (FM), and uncovered cultivation (LD) treatments, respectively. The results showed that upland cultivation inhibited rice growth to some extent and lowered grain yield. However, grain weight was least affected with upland cultivation. Grain yield under FM treatment was reduced by 6.47% compared with that under CT treatment, which was not at a significant level. Also, N & P accumulation under FM treatment were not apparently affected. However, LD treatment reduced grain yield by 14.9% and decreased N & P accumulation. Additionally, N & P harvest indexes were more sensitive to upland cultivation than N & P physiological use efficiency. Though both FM and LD treatments had reduced N & P harvest indexes, LD treatment played a more predominant role. It was further found that rice grain yield showed better correlation with N nutrition than P nutrition. Therefore, it was concluded that FM treatment could efficiently alleviate the effects of upland cultivation on rice growth and nutrients use efficiency. In addition, better N & P nutrition management, especially N nutrition, was favorable for improving rice growth and grain yield.

Keywords: rice; upland cultivation; grain yield; N & P; use efficiency

收稿日期: 2014-05-05

基金项目: 浙江省环保科技计划项目(2012B016); 嘉兴市科技计划项目(2011AY1047; 2012AY1055)

作者简介: 陈 贵(1982—), 男, 山西人, 博士, 主要从事水稻氮素营养及生态环境研究。E-mail: chenzhao2004@163.com。

通信作者: 程旺大(1971—), 浙江人, 博士, 主要从事水稻栽培及生态环境研究。E-mail: chwd228@yeah.net。

按照国务院 1996 年颁布《中国粮食问题白皮书》的说法,到 2030 年,我国人口将达到 16 亿,粮食需求总量将超过 6.4 亿 t^[1]。水稻是我国最主要的粮食作物之一,有 60% 以上的人口以稻米为主食,稻谷总产量可占粮食总产量的 40% 左右^[2]。因此,增加水稻产量刻不容缓。欲要增产,方法之一就是扩大种植面积。然而我国南方稻区灌溉条件较好的稻作区面积已相对饱和,因此,在灌溉条件较差地区推广旱作水稻就显得尤为重要。

水稻的生态适应性较强,水分生态幅度较宽,只要保证一定的水分供应,基本可以满足水稻正常生长,并表现出旱作作物的一般生理特性^[3-4]。近年来,水稻旱作受到广泛关注,且在我国一些地区也得到推广和应用^[5-6]。有关水稻旱作的相关机理机制也得到相对深入的研究,但大多数研究主要集中于不同旱作模式对水稻生长、水分利用效率、土壤氮素动态变化以及水稻对氮素的吸收利用效率^[7-11]方面,而鲜见以植物营养角度为出发点,兼具研究水稻对氮磷营养元素的吸收利用效率。氮磷是植物体内最重要的两种大量营养元素,参与植物新陈代谢的各个环节和步骤,因此,研究旱作条件下水稻对氮磷的吸收利用效率,对丰富旱作对水稻生理化的影响机制和指导旱作水稻发展是很有必要的。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

水泥池微区试验在南京农业大学温室中进行。供试水稻品种为汕优 63,微区面积为 1 m²,四面及底部均加以密封,微区土壤类型为高砂土,0~20 cm 耕层土壤理化性状为:有机质 12.5 g·kg⁻¹,全氮 1.012 g·kg⁻¹,碱解氮 139.8 mg·kg⁻¹,速效磷 18.2 mg·kg⁻¹,速效钾 108.3 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

设 3 种植方式:传统水作(CT),即水稻整个生育期除中期和后期烤田外,其余时间均保持 3~5 cm 水层;覆膜旱作(FM),即移栽前浇透底墒,地膜覆盖后移栽,移栽后浇水至成活;裸地旱作(LD),移栽前浇透底墒,移栽后浇水至成活,之后根据土壤墒情在水稻生长关键时期(分蘖盛期、孕穗期、抽穗期和灌浆期)各浇一次水,每次浇水均使土壤含水量达田间最大持水量 80%~90% 左右。试验采用随机排列,每种种植方式重复 3 次,共计 9 个微区。氮素为尿素,用量为 22.5 g·N⁻¹·m⁻²;磷肥为过磷酸钙,

用量为 (P₂O₅) 10 g·m⁻²;钾肥为氯化钾,用量为 (K₂O)4.5 g·m⁻²,所有肥料均作基肥一次性施入,并于水稻移栽前与耕层土壤充分混合。水稻于当年 6 月中旬移栽,株行距为 15 cm×25 cm,10 月中旬收获。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 地上部干物质累积量 水稻收获时每微区采集长势一致的 5 穴水稻地上部样品,70℃ 烘干,称量质量。

1.3.2 各部位氮含量 将一部分成熟期水稻样品分穗和茎叶磨碎;再将一部分样品分叶片、茎秆、穗轴、壳和稻谷磨碎,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,用凯氏定氮法测定。

1.3.3 各部位磷含量 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,用钼锑抗比色法测定。

1.3.4 产量 水稻成熟后各微区采集 0.5 m² 水稻(尽量避免边际效应)用于测定产量。

1.4 关键指标计算公式

(1) 氮(或磷)收获指数 = N_g/N_t ,其中 N_g 、 N_t 分别代表水稻谷物中氮(或磷)累积量、全生育期水稻植株总吸氮(或磷)量。

(2) 氮(或磷)素生理利用率 ($PE - bio$) = B_t/N_t ,其中 B_t 、 N_t 分别代表全生育期水稻植株总干物质累积量、总吸氮(或磷)量。

1.5 统计方法

数据均采用 SAS 数据分析软件包进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 旱作对水稻产量及其构成因素的影响

由表 1 可知,与传统水作(CT)相比,两种旱作方式,即覆膜旱作(FM)和裸地旱作(LD)的稻谷产量分别降低 6.47% 和 14.9%。但 CT 和 FM 处理间未达显著差异水平,说明通过覆膜方式进行的水稻旱作即节省了大量水资源,又没有造成稻谷显著减产。通过对产量构成因素的分析,发现千粒重受旱作的影响相对最小。尽管与 CT 相比,两种旱作水稻的稻谷千粒重呈降低趋势,但均未达到显著水平。穗数、每穗粒数及结实率在三种处理间的变化规律与产量趋势一致,即 FM 处理与 CT 相比,尽管有所降低,但均未达显著差异水平。说明旱作处理导致水稻产量下降的原因主要是穗数、每穗粒数和结实率下降共同作用的结果,千粒重的影响作用最小。

表 1 旱作条件下水稻产量及产量构成因素

Table 1 Rice yield and yield component under upland cultivation condition

种植方式 Cultivation	产量 Yield ($\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗数 Available panicle ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数 Full grains each panicle (number/panicle)	结实率 Seed setting rate /%	千粒重 1000-grain weight /g
CT	7.57 ± 0.52 a	246.7 ± 4.2 a	131.9 ± 0.9 a	85.1 ± 0.9 a	28.7 ± 0.7 a
FM	7.08 ± 0.22 ab	243.7 ± 4.7 ab	128.2 ± 4.6 ab	84.1 ± 0.6 ab	28.1 ± 0.8 a
LD	6.44 ± 0.21 b	237.3 ± 1.5 b	122.7 ± 3.0 b	83.3 ± 1.1 b	28.0 ± 0.6 a

注:同列不同小写字母代表各处理间差异达显著水平($P < 0.05$),下同。

Note: Different small letters in the same columns indicate significant differences at $P < 0.05$ level and hereinafter.

2.2 旱作对水稻干物质、氮磷累积的影响

与 CT 相比,FM 和 LD 处理显著降低了水稻的干物质累积,但 FM 处理仅下降 8.51%,LD 处理则下降 21.8%。可见通过覆膜能够有效降低土壤水分变化对水稻干物质累积的影响。FM 处理并未明显降低水稻整个生育期的氮素和磷素累积总量;然而,与 CT 相比,LD 处理下的水稻氮素和磷素累积总量则明显下降,说明覆膜可以缓解旱作下水稻根系对土壤养分吸收能力的影响(见表 2)。

2.3 旱作对水稻氮磷收获指数的影响

氮和磷收获指数能够反应水稻整个生育期累积氮、磷营养元素在稻谷中的分配、转运状况。由图 1(a)可知,与 CT 相比,FM 和 LD 处理均显著降低了水稻的氮收获指数,分别降低 3.94% 和 17.6%,LD 处理降低的程度远大于 FM 处理,说明旱作在一定程度上阻碍了氮素向稻谷的分配和转移,且随土壤

干旱程度的加强,阻碍程度呈增强趋势。

表 2 旱作条件下水稻干物质和氮磷总累积量

Table 2 Rice dry matters, N & P accumulations under upland cultivation condition

种植方式 Cultivation	干物质累积 Dry matter accumulation ($\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	氮素累积 N accumulation /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	磷素累积 P accumulation /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CT	18.8 ± 1.0 a	290.9 ± 9.8 a	34.1 ± 2.6 a
FM	17.2 ± 0.6 b	276.5 ± 9.9 a	31.3 ± 1.4 a
LD	14.7 ± 0.5 c	232.3 ± 10.8 b	24.8 ± 0.6 b

与氮收获指数趋势一致,旱作也降低了磷的收获指数。然而,FM 处理下降比例仅为 4.20%,而 LD 处理的下降比例则达 12.6%,说明旱作在一定程度上阻碍了磷素向稻谷的分配和转移,且同样随土壤干旱程度增加,阻碍程度呈增加趋势(图 1(b))。

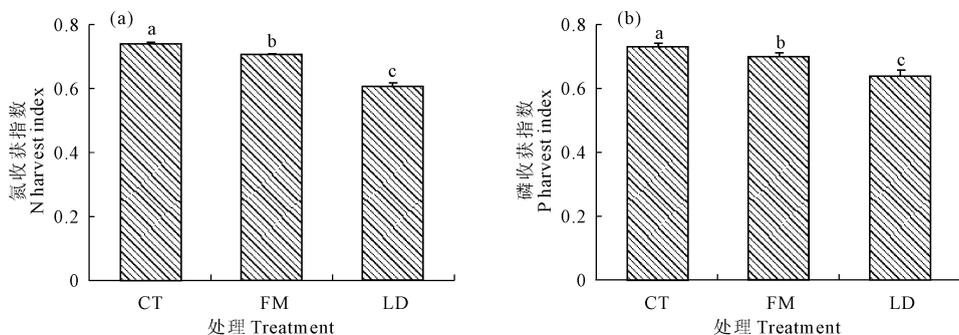


图 1 旱作条件下水稻氮(a)和磷(b)的收获指数

Fig.1 Rice N (a) and P (b) harvest indexes under upland cultivation condition

注:图中不同小写字母代表各处理间差异达显著水平($P < 0.05$),下同。

Note: Different small letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level among treatments and hereinafter.

2.4 旱作对水稻氮磷生理利用效率的影响

氮和磷的生理利用效率能够反应水稻利用氮和磷营养元素产生干物质的能力。由图 2(a)可见,旱作并未明显降低水稻的氮素生理利用效率。对于磷的生理利用效率而言,FM 处理与 CT 处理间无显著差异,而 LD 处理则明显增加了水稻对磷的生理

利用效率,说明当土壤干旱达到一定程时可能有利于提高磷生理利用效率(图 2(b))。

2.5 旱作对水稻不同部位氮磷素含量的影响

氮素在叶片、茎秆、穗轴和壳中的含量呈逐渐降低趋势,另外,随土壤含水量下降,氮素在各部位中的含量呈增加趋势(图 3(a))。水稻籽粒中的氮素

含量与叶片中的含量接近。CT、FM 和 LD 处理间无明显差异,亦无表现出增加或降低趋势,说明旱作对水稻籽粒中的氮素含量基本无影响。

水稻叶片、茎秆、穗轴和壳中的磷素的含量大小基本一致;随土壤含水量下降,磷素在各部位中的含量并未表现出一致规律。籽粒中的磷素含量要明显高于叶片、茎秆、穗轴和壳。旱作并没有明显影响水稻籽粒中的磷素含量(图 3(b))。由图 3(a)和(b)可以看出,除籽粒外,水稻植株各部位中氮素和磷素含

量及随土壤含水量变化而引起的变化趋势存在一定差异。

2.6 旱作条件下水稻产量和各相关指标的相关性分析

由表 3 可知,不同栽培方式下水稻的产量和干物质累积、氮磷累积、氮磷收获指数均呈极显著正相关,说明,旱作条件下水稻这些指标的提高有利于增加稻谷产量。产量与氮素和磷素的生理利用效率则无显著相关性。

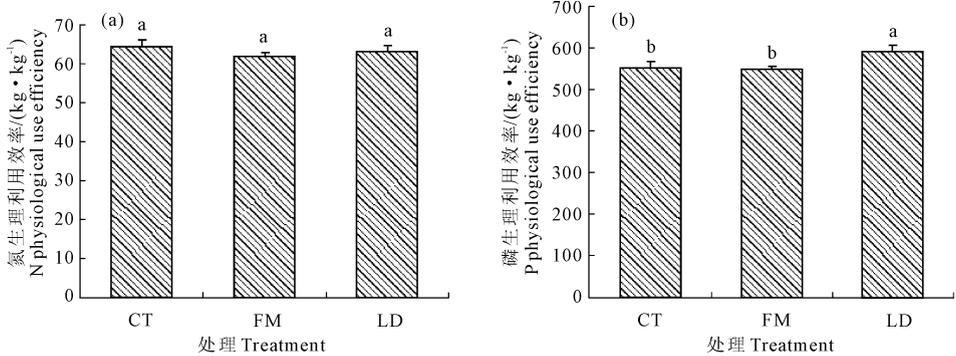


图 2 旱作条件下水稻氮(a)和磷(b)生理利用效率

Fig.2 Rice N (a) and P (b) physiological use efficiencies under upland cultivation condition

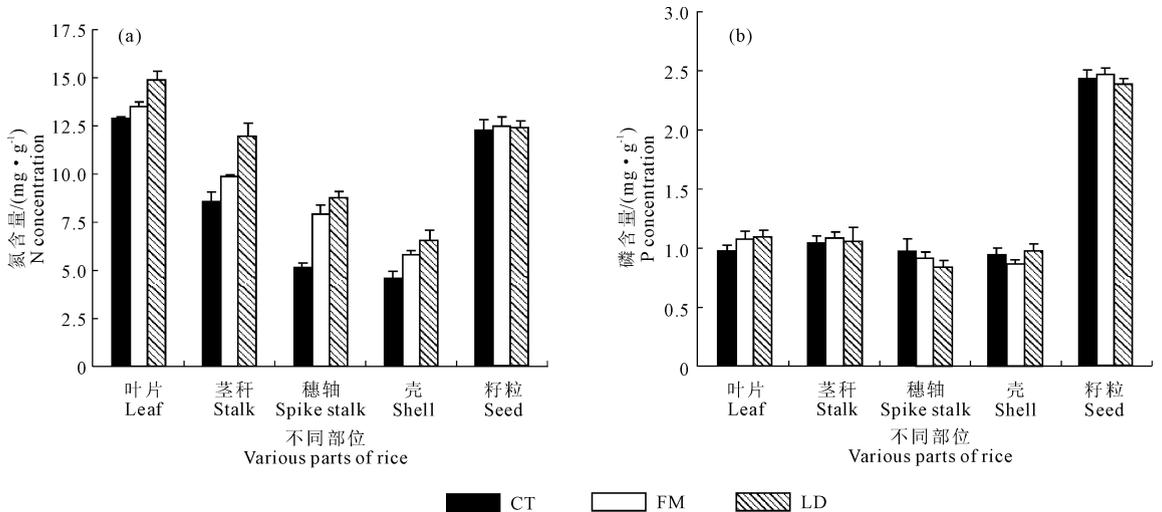


图 3 旱作条件下水稻不同部位氮(a)和磷(b)含量

Fig.3 Rice N (a) and P (b) concentrations in different tissues of rice under upland cultivation condition

表 3 旱作条件下水稻产量和各相关指标的相关性

Table 3 Correlations between rice grain yield and various related indexes under upland cultivation condition

指标 Index	干物质累积 Dry matter accumulation	氮素累积 N accumulation	磷素累积 P accumulation	氮收获指数 N harvest index	磷收获指数 P harvest index	氮素生理 利用效率 N physiological use efficiency	磷素生理 利用效率 P physiological use efficiency
产量 Yield	0.799**	0.834**	0.761**	0.868**	0.806**	0.087	-0.561

注: ** 表示在 0.01 水平显著相关,下同。

Note: ** indicates significant differences at 0.01 level and hereinafter.

不同栽培方式下水稻产量和叶片、茎秆和穗轴中的氮含量呈显著负相关性,其中与茎秆和穗轴中的氮含量的相关性达极显著水平。水稻产量仅与叶

片中的磷含量呈显著负相关性,说明水稻产量与氮含量间的关系更加紧密(表 4)。

表 4 旱作条件下水稻产量和各部位氮、磷含量的相关性

Table 4 Correlations between rice yield and N & P concentrations of different tissues under upland cultivation condition

指标 Index	叶片 Leaf		茎秆 Stalk		穗轴 Spike stalk		壳 Shell		籽粒 Seed	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
产量 Yield	-0.759*	-0.690*	-0.900**	-0.012	-0.806**	0.389	-0.658	-0.076	-0.026	0.109

注: * 表示在 0.05 水平显著相关。

Note: * indicates significant difference at 0.05 level.

3 讨论与结论

本研究证明,旱作在一定程度上限制了水稻生长,降低了产量,此结论与其他研究所得结论基本一致^[4,12-14]。另外,本研究发现,旱作对水稻产量构成因素中千粒重的影响程度最小,而对其它构成因子的影响相对较大,此结论与钱晓晴等^[15]、张耗等^[14]的研究结论基本一致,而与张玉屏等^[16]、李德福等^[17]的研究结论则存在一定差异,其主要原因可能是水稻品种、旱作方式或管理措施存在差异所致。然而,覆膜能够有效缓解旱作对水稻生长的抑制作用,使稻谷产量与传统水作栽培产量无显著差异,说明覆膜旱作不仅能大量节约和高效利用淡水资源,而且能够在一定程度上保证水稻产量,这在半干旱或季节性干旱地区具有重要意义。

氮磷是水稻生长和产量形成最关键的营养因子。本研究通过分析、比较水稻传统栽培方式和两种不同旱作方式,即覆膜和裸地栽培对水稻生长和氮、磷营养元素的利用效率,发现旱作在一定程度上降低了水稻的氮素和磷素积累量,说明旱作阻碍了水稻对氮磷营养元素的吸收。研究表明,水分胁迫导致根系干重、总吸收面积以及活力下降^[18],而且随水分胁迫程度加强根系各指标受抑制程度加重^[19]。在本研究中,覆膜旱作处理可能并未对水稻根系功能特性产生明显影响,从而对氮磷的吸收效率未受明显抑制。然而,覆膜旱作处理下水稻氮、磷收获指数均明显降低,而氮、磷的生理利用效率则无明显变化,甚至升高,说明氮磷收获指数对旱作栽培更加敏感。氮磷收获指数是反映作物氮和磷利用效率的重要指标,指数越高表明植株积累的氮和磷较多地分配至籽粒,减少了氮磷在秸秆中残留量,促进氮磷的高效循环利用^[20]。杨建昌等^[21]研究指出,水分胁迫对水稻产量库容的影响大于对源的影响。

在本研究中,水稻旱作氮、磷收获指数降低主要原因可能是由于谷物干物质累积降低所致,另外,对于氮含量而言,由于除水稻籽粒外的其它各部位氮含量均随土壤含水量降低而呈升高趋势,因而其对旱作水稻氮收获指数降低也有一定的促进作用。

本研究中,尽管不同栽培方式下水稻产量与氮、磷累积和氮、磷收获指数均呈极显著正相关,但与氮累积和氮收获指数的相关系数要高于磷累积和磷收获指数。另外,产量与叶片、茎秆和穗轴中的氮含量均呈显著相关关系,而仅与叶片中的磷含量呈显著相关关系,说明水稻产量和氮素营养的关系要比与磷素营养的关系更加紧密。

参考文献:

- [1] 叶惠丽. 关于保障粮食安全的几点建议[J]. 北京农业, 2009, (16):6-7.
- [2] 廖西元, 陈云贵, 任天志. 我国优质水稻生产现状与发展对策[J]. 农业技术经济, 2002, 5: 32-34.
- [3] 杨安中. 水稻秸秆与地膜二元覆盖旱作栽培效应研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 66-69.
- [4] 柏彦超, 倪梅娟, 王娟娟, 等. 水分胁迫对旱作水稻产量与养分吸收的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 101-104.
- [5] 王甲辰, 刘学军, 张福锁, 等. 不同土壤覆盖物对旱作水稻生长和产量影响[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 922-929.
- [6] 沈康荣, 李家军, 刘军, 等. 水稻覆膜直播旱作技术的特点及关键技术[J]. 中国稻米, 2005, 3: 29.
- [7] 石英, 冉炜, 沈其荣, 等. 不同施氮水平下旱作水稻土壤无机氮的动态变化及其吸氮特征[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(2): 61-65.
- [8] 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[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 901-907.
- [9] Fan MS, Jiang RF, Liu XJ, et al. Interactions between non-flooded mulching cultivation and varying N inputs in rice-wheat rotations[J]. Field Crops Research, 2005, 91: 307-318.
- [10] 陈仁天, 唐茂艳, 赵荣德, 等. 耕作方式和大田水分管理对水稻氮素吸收利用的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(7): 942-946.

- 26.
- [3] 张 晶. 中国人粮关系的区域差异和国家粮食安全[J]. 经济地理, 2009, 29(11): 1884-1917.
- [4] 刘昌明, 何希吾. 中国 21 世纪水问题方略[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 86-95.
- [5] 高占义. 中国的灌溉发展及其作用[J]. 水利经济, 2006, (1): 36-39, 82.
- [6] 朱秀珍. 大型灌区运行状况综合评价研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [7] 刘 勤, 吕昌荣, 梅旭荣, 等. 西北旱区参考作物蒸散量空间格局演变特征分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 48-53.
- [8] 佟 玲, 康绍忠, 杨秀英. 西北旱区石羊河流域作物耗水点面尺度转化方法的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 45-51.
- [9] 李栋梁, 魏 丽, 蔡 英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142.
- [10] 蔡运龙, 傅泽强, 戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J]. 地理学报, 2002, (02): 127-134.
- [11] 赵永敢, 李玉义, 逢焕成, 等. 四川省耕地压力时空变化特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(3): 28-32.
- [12] 李建平, 上官周平. 陕西省耕地生产能力的时空分布[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 239-246.
- [13] 耿艳辉, 闵庆文, 成升魁, 等. 泾河流域耕地-人口-粮食系统与耕地压力指数时空分布[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 68-73.
- [14] 任桂镇, 赵先贵, 巢世军, 等. 基于耕地生态压力指数的中国耕地压力时空差异分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10): 37-41.
- [15] 朱红波, 张安录. 中国耕地压力指数时空规律分析[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 104-108.
- [16] 李根明, 孙 虎, 耿海波, 等. 耕地压力评价模型的建立及应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(4): 464-467.
- [17] 赵永华, 刘晓静, 奥 勇. 陕西省耕地资源变化及耕地压力指数分析与预测[J]. 农业工程学报, 2013, (11): 217-223.
- [18] 刘笑彤, 蔡运龙. 基于耕地压力指数的山东省粮食安全状况研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, (S1): 334-337.
- [19] 王鹏新, 魏益民. CPR/91/114 项目在西北旱区实施的科技扶贫成效与经验[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(3): 130-134.
- [20] 刘巽浩. 对西北旱区农业发展战略的思考[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 1-2.
- [21] 康绍忠, 许 迪, 李万红, 等. 关于西北旱区农业与生态节水基本理论和关键技术研究领域若干问题的思考[J]. 中国科学基金, 2002, (5): 274-278.
- [22] 孙 强, 王 乐, 蔡运龙. 基于 SOFM 网络的中国耕地压力综合分区[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 625-631.
- [23] 刘 东, 封志明, 杨艳昭, 等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-6.
- [24] 梅方权. 21 世纪前期中国粮食发展分析[J]. 中国软科学, 1995, (11): 98-101.
- [25] 卢良恕, 刘志澄. 中国中长期食物发展战略[M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- [26] 贺一梅, 杨子生. 基于粮食安全的区域人均粮食需求量分析[J]. 全国商情(经济理论研究), 2008, (7): 6-8.
- [27] 唐华俊, 李哲敏. 基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(11): 2315-2327.

(上接第 186 页)

- [11] 陈志龙, 李 勇, 许建平, 等. 不同覆盖处理对旱作水稻土壤碳氮变化及氮素平衡的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 314-317.
- [12] 黄新宇, 徐阳春, 沈其荣, 等. 水作与地表覆盖旱作水稻的生长和水分利用效率[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 32-35.
- [13] 殷晓燕, 徐阳春, 沈其荣, 等. 直播旱作和水作水稻的氮素吸收利用特征研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 983-986.
- [14] 张 耗, 剧成欣, 陈婷婷, 等. 节水灌溉对节水抗旱水稻品种产量的影响及生理基础[J]. 中国农业科学, 2012, 45(23): 4782-4793.
- [15] 钱晓晴, 沈其荣, 徐 勇, 等. 不同水分管理方式下水稻的水分利用效率与产量[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 399-404.
- [16] 张玉屏, 黄义德, 李金才, 等. 旱作条件对水稻根系生长发育和产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(5): 605-606, 637.
- [17] 李德福, 李金才, 魏凤珍. 拔节长穗期水分胁迫对旱作水稻若干生理特性和经济产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(7): 1166-1167, 1169.
- [18] 陈新红, 王志琴, 杨建昌. 不同氮素水平与水分胁迫对水稻秧苗素质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 78-81, 93.
- [19] 马廷臣, 余蓉蓉, 陈荣军, 等. PEG-6000 模拟干旱对水稻苗期根系形态和部分生理指标影响的研究[J]. 中国农业通报, 2010, 26(8): 149-156.
- [20] 程建峰, 戴廷波, 曹卫星, 等. 不同氮收获指数水稻基因型的氮代谢特征[J]. 作物学报, 2007, 33(3): 497-502.
- [21] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究[J]. 中国农业科学, 1995, 28(5): 65-72.