

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第14期 Vol.31 No.14 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第14期 2011年7月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性.....	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化.....	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例.....	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法.....	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化.....	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型.....	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位.....	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响.....	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征.....	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布.....	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用.....	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
铜在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系.....	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响.....	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素.....	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响.....	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响.....	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选.....	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式.....	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应.....	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素.....	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子.....	张吉忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测.....	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态.....	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.....	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

黄伟, 张俊花, 李文红, 张立峰. 冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应. 生态学报, 2011, 31(14): 4072-4081.
Huang W, Zhang J H, Li W H, Zhang L F. Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4072-4081.

冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应

黄 伟^{1,*}, 张俊花¹, 李文红¹, 张立峰²

(1. 河北北方学院农林科技学院, 宣化 075131; 2. 河北农业大学农学院, 保定 071001)

摘要: 针对冀西北高原水源匮乏、利用低效问题,于2009—2010年在农业部张北农业资源与生态环境重点野外试验站通过南瓜//油葵不同间作群体结构试验,探讨了该区南瓜水分高效的种植方式。试验设南瓜单作(Sp),南瓜行间作1行油葵(IC₁),南瓜行间作2行油葵(IC₂)和油葵单作(So)4个处理。结果表明,南瓜行间种植两行油葵(IC₂)在南瓜生长中后期出现了油葵与南瓜争夺水分的现象,而南瓜行间种植一行油葵(IC₁)无此现象。各处理间水量平衡各分量有较大的差异,在整个生育时期降雨量为201.6mm的情况下,渗漏量占的比重非常小,并且土壤蓄水量变化均为负值,绝大部分水分都是以气态水蒸散掉,但不同间作方式蒸散失水量不同,其中IC₁较So、Sp和IC₂分别少散失土壤水分36.33%、19.00%和34.87%。得益于油葵的偏利效应使南瓜经济产量下降30.00%—71.42%,而间种油葵单株产量相对单作田提高190.71%—241.26%,虽其土地当量比LER和水分当量比WER分别达1.08—1.22和1.07—1.26,但IC₁复合群体的经济效益只能与南瓜单作田持平,其他处理明显低于单作南瓜。在冀西北高原雨养背景下,稀植高效的南瓜单作生产能够实现对区域水资源的高效利用。

关键词: 南瓜; 油葵; 间作; 土壤水分; 水分利用

Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province

HUANG Wei^{1,*}, ZHANG Junhua¹, LI Wenhong¹, ZHANG Lifeng²

1 College of Agriculture and Forestry, Hebei North University, Xuanhua 075131, China

2 College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

Abstract: In the recent years, the environment has deteriorated in the plateau in northwest Hebei Province. Farmland has been converted to forestland and grassland following national policy. As the area of cultivated land has decreased, the income of the rural population has reduced. In the past decade, out-of-season vegetables have been cultivated in meadow chestnut soil, which accounts for 10%—15% of the total cultivated area. This has led to an increase in income of the rural population. The area of sand chestnut soil, which accounts for 60%—70% of the total cultivated area, is not effectively used. Improving the use of local resources, particularly sand chestnut soil, has become an important challenge. Pumpkin can be used as both a vegetable and food crop and its economic value is 7—8 times more than that of naked oats. Because it is drought tolerant and suitable for larger spaced planting, it is usually the first candidate crop used to improve the local economy of arid areas. Experiments were conducted during 2009—2010 at the Zhangbei Agricultural Resource and Ecological Environment Key Field Research Station, Hebei Province, China to study the water efficiency of the pumpkin-planting patterns used in this area. Four patterns of pumpkin and oil sunflower intercropping were compared to determine whether a stereo-planting pattern of pumpkin and oil sunflower can increase the efficiency of use of water and soil resources and increase the economic value of crops in the plateau of northwest Hebei Province. The four planting patterns included

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD15B05); 河北省科技支撑计划(06220901D)

收稿日期: 2011-03-08; **修订日期:** 2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangwei197025@yahoo.com.cn

sole cropping of pumpkin (Sp) and oil-sunflower (So), as well as intercropping with one row of oil sunflower (IC_1), and intercropping with two rows of oil sunflower (IC_2) between pumpkin rows. Water balance, water use efficiency, variation of water use among different stages and sites and yield were studied by monitoring soil water in each planting pattern. The results showed that oil sunflower competed with pumpkin for soil water during the late growth stage of pumpkin in IC_2 but there was no water competition in IC_1 . Total rainfall during the growing season was 201.6 mm, and soil water balance differed among treatments. In all cases, water percolation was low, and soil moisture storage was always negative. Nearly all water loss occurred through evapotranspiration, which varied according to the soil treatment. The seasonal evapotranspiration of plants in IC_1 was less than those of plants in So, Sp, and IC_2 , which measured 46.57%, 41.22%, and 46.73%, respectively. The economic yield of pumpkin decreased from 30.00% with IC_1 to 71.42% with IC_2 . Compared with So, oil sunflower intercropping increased the yield per plant from 190.71% to 241.26%, showing that oil sunflower has some advantages over pumpkin. The land equivalent ratio of pumpkin to oil sunflower had a range of 1.08—1.22, while the water equivalent ratio had a range of 1.07—1.26. The economic value of Sp was the greatest of the four planting patterns; although it did not differ significantly from IC_1 , it was significantly lower than the other planting patterns. In this region of rain-fed dry land farming, sparse planting of pumpkin, without oil sunflower intercropping, could allow effective use of the water resources in the plateau of northern Hebei Province.

Key Words: pumpkin; oil sunflower; intercropping; soil moisture; water use

水资源匮乏,土壤贫瘠是旱地农业发展的主要限制因子^[1],降水高效利用成为区域农作的核心^[2]。籍此大量科学的研究者针对不同旱作区改变作物布局,采取不同的栽培措施^[3-4]以及作物抗旱性评价^[5]等进行水资源的高效利用研究。而对于作物宽幅行间资源的有效利用,混农林业复合系统^[6-8]和枣粮间作模式^[9]等通过作物的适量间种,发挥作物间对水分吸收的空间分异与时间分异与互补机制,提高了土地综合生产力^[10]。对冀西北高原旱沙土壤的农田耗水特性研究表明,尽管作物间产量差异悬殊,但生长季农田耗水量相差不大^[11],适生作物与作物配置成为农田水分高效利用的核心。南瓜抗旱耐瘠,适应性强,对土质要求不严,无论山坡平地,或零星间隙,都可种植,经济效益高,现已成为冀西北高原坡梁旱地首选适生作物之一,而油葵植株茎秆粗壮,早发性好,抗病性强,抗倒伏,较耐旱,耐涝,耐盐碱,耐瘠薄,生长势强,抗倒伏,耐高密、适应性广。因此,生态脆弱的冀西北高原研究间种油葵的稀植南瓜田土壤水分时空变化、水量平衡、水分利用效率和经济产值,以探索稀植作物南瓜与高秆作物油葵的间作模式对区域旱作水资源的利用效果,以及间种作物间的水分竞争,为区域作物生产结构的调整与农田水土资源的高效利用提供理论与技术。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验在河北省张家口市农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站(41°11'35"N, 114°51'20"E)进行,试验站海拔1450 m,年均气温2.6℃,年均降雨量399.2 mm,年均蒸发量1693.0 mm,干燥度2.0,无霜期90—110 d^[10]。

试验样地为岗梁砂质栗钙土,供试土壤的物理性状见表1。

1.2 试验设计

试验选择高秆作物油葵与蔓生作物南瓜,通过在南瓜的行间与不同比例的油葵间种,创造二作物间水分竞争环境,进而监测田间水分变异特性。试验设4个处理,各处理种植方式如表2和图1。田间采用随机区组布局,小区面积6 m×4 m,3次重复。

另外,建设长、宽、深各3 m、2 m、1 m的体现以南瓜单作为基础间种油葵的渗漏池4个。南瓜和油葵均采用育苗移栽的方式,且均于2009年5月14日在小拱棚育苗,待南瓜苗和油葵苗两片真叶展开时(6月3日)定植大田,定植前一次性施入底肥,每小区施入磷酸二铵2 kg。南瓜种植行作成沟垄状,垄沟深5—7 cm,

表1 供试土壤的物理性状

Table 1 Physical characteristics of the tested soil

土层深度 Depth of Soil /cm	容重 Bulk density /(g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity /%	田间持水量 Field capacity /%	凋萎湿度 Wilting moisture /%	土壤有效水 Soil available water /%	
					/mm	
0—20	1.53	41.88	19.71	4.06	15.65	31.29
20—40	1.56	40.74	10.26	3.10	7.16	14.31
40—60	1.77	32.82	9.64	3.51	6.13	12.25
60—80	1.64	37.73	13.15	3.26	10.39	20.77
80—100	1.61	38.86	20.60	3.20	17.40	34.79

表2 各处理种植方式

Table 2 Plant pattern of treatments

处理 Treatment	油葵行株距 Row and plant spacing of oil sunflower	南瓜行株距 Row and plant spacing of pumpkin
		—
油葵单作 Oil sunflower Sole crop(So)	50cm×25cm	—
南瓜间作油葵 1 行 Pumpkin intercropping with one row oil sunflower(IC ₁)	200cm×25cm	200cm×45cm
南瓜间作油葵 2 行 Pumpkin intercropping with two row oil sunflower (IC ₂)	150cm×25cm 50cm×25cm	200cm×45cm
南瓜单作 Pumpkin Sole crop(Sp)	—	200×45

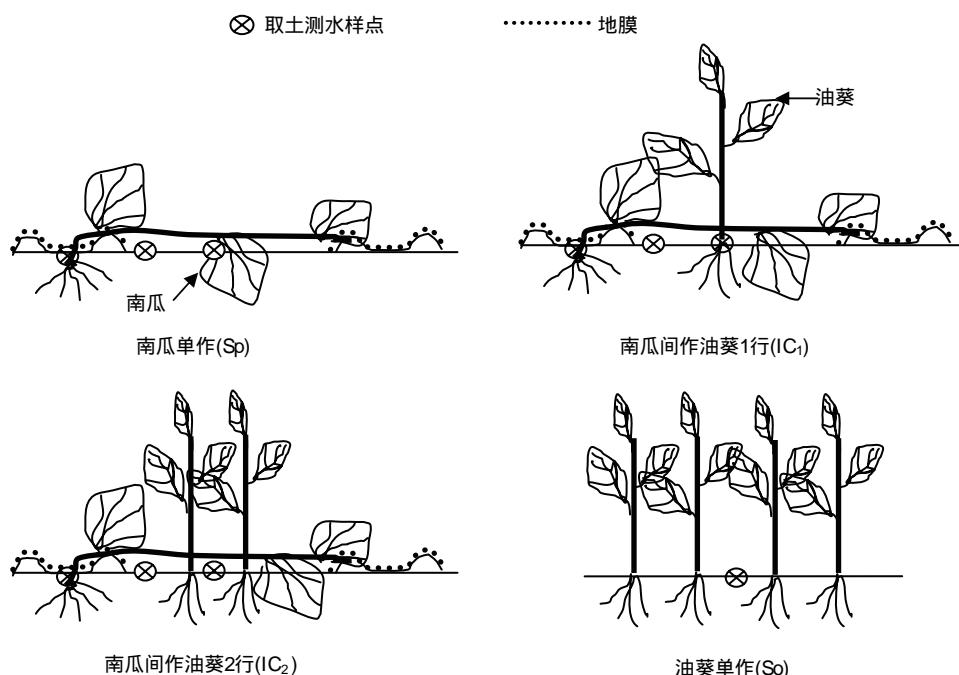


图1 各处理种植方式简图

Fig. 1 The diagram of plant patterns

垄沟宽 60 cm, 南瓜定植在垄沟内, 定植后在垄沟上覆盖 80 cm 宽的地膜(图 1)。渗漏池内 Sp 、 IC₁ 、 IC₂ 均种植 1 行南瓜, IC₁ 种植 1 行油葵, IC₂ 种植 2 行油葵, S₀ 种植 4 行油葵。油葵定植在南瓜蔓爬行的畦面上。定植时每株南瓜和油葵均浇水 1 kg, 以利幼苗成活。以后南瓜和油葵均不再浇水, 而是采用雨养旱作进行生产。南瓜和油葵水分取样点处在同一水平面上。各处理均采用一般大田管理, 8 月 22 日收获。2010 年重复

2009年试验,两年结果基本一致,数据采用2009年试验数据。

1.3 研究方法

土壤含水量采用烘干法测定,从6月3日开始至8月22日结束。期间每隔10 d测定1次,分别测定南瓜种植行即0 cm位点处、距南瓜种植行50 cm位点处、距南瓜种植行100 cm位点处0—80 cm土层土壤的含水量和单作油葵0—80 cm土层土壤的含水量,每10 cm一层。采用渗漏池(长、宽、深为3 m、2 m、1 m)监测各处理土壤渗漏量(D),渗漏池作物种植方式同大田。

水量平衡的计算采用水量平衡方程: $P=R+E+\Delta W$,其中, P 为大气降水; R 为地下渗漏; E 为蒸散量,蒸散量的计算采用水量平衡法,即蒸散量^[12] $E=P-R-\Delta W$ 。 ΔW 为土壤蓄水变化量。

土壤蓄水量采用分层计算法,计算公式为^[13]:

$W_i=0.1h_i f_i d_i$,其中 W_i 为第*i*土层的蓄水量(mm); h_i 为*i*层土壤厚度(cm); f_i 为*i*层土壤的含水量(重量百分数); d_i 为*i*层土壤容重(g/cm³)。

农田耗水量(WU)=作物生育期降水量(P)-种收土壤蓄水变化量(ΔW)-降水渗漏量(D)

土地当量比(LER)= $Y_1/Y_1' + Y_2/Y_2' + \dots + Y_i/Y_i'$

式中, Y_i 为间作中各作物单位面积的产量; Y_i' 为各作物相同条件下单作单位面积的产量,*i*为间作中的各作物^[14]。

间作水分当量比(WER)= $W_1/W_1' + W_2/W_2' + \dots + W_i/W_i'$

式中, W_i 为间作中各作物单位水量的产量, W_i' 为各作物相同条件下单作单位水量的产量,*i*为间作中的各作物。

南瓜和油葵实测小区产量,然后每小区取5株,称其鲜重,烘干后测干重、出干率,计算南瓜和油葵的干物质生产量。

本试验结果中产值水分利用效率的计算公式为:

产值水分利用效率=单位面积经济产值(元/hm²)/耗水量(mm)

耗水量=灌水量(mm)+降雨量(mm)

试验数据采用Excel作图和DPS软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 间种油葵对南瓜田同一位点土壤水分的时序影响

距南瓜种植行不同位点处0—40 cm土层的土壤含水量变化时序如图2。在南瓜种植行即0 cm位点处0—40 cm土层水分于苗期(6月3日—6月23日)各处理间无明显的差别,抽蔓开花期(6月23日—7月

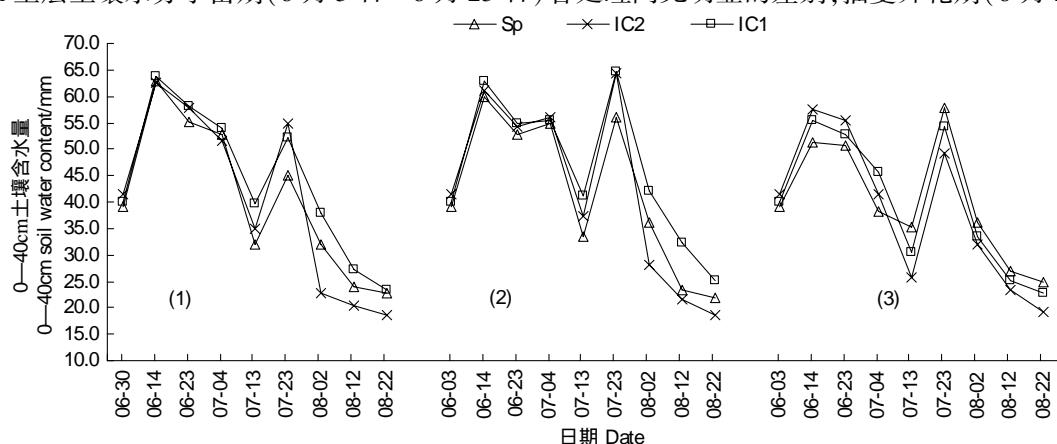


图2 不同处理南瓜种植行间不同位点0—40 cm土层土壤含水量

Fig. 2 Soil water content of 0—40 cm at different sites of pumpkin strip in different treatments

(1) 为南瓜种植行即0 cm位点处;(2) 为距南瓜种植行50 cm位点处;(3) 为距南瓜种植行100 cm位点处

23日),间作(IC_1 和 IC_2)较南瓜单作(Sp)的土壤含水量高,到此期结束间作(IC_1 和 IC_2)较南瓜单作(Sp)土壤含水量分别高6.99 mm和9.59 mm;结果期(7月23日—8月22日), IC_1 一直高于Sp,到收获时0—40 cm土壤含水量高于Sp0.58 mm;而 IC_2 整个结果期均低于Sp,收获时较Sp低4.19 mm, IC_2 中油葵的超额耗水对南瓜种植行的水分消耗产生了明显竞争。

距南瓜种植行50 cm位点处0—40 cm土层的土壤水分含量与南瓜种植行即0 cm位点处相近。

图2表明,南瓜开花之前(7月4日)距南瓜种植行100 cm位点处,由于无瓜蔓覆盖,Sp0—40 cm土层的土壤含水量最低,而相应 IC_1 和 IC_2 于7月4日高出Sp7.26 mm和3.27 mm;南瓜开花之后,瓜蔓的行间遮盖与油葵成长蒸腾改变了100 cm位点处水分态势,表现为Sp含水量最高,间种油葵田低,到收获时Sp较 IC_1 和 IC_2 分别高出2.09 mm和5.69 mm。

间种油葵后的南瓜田及距南瓜种植行不同位点处40—80 cm土层土壤水分变化(图3)与0—40 cm土层(图2)相似,只是由于土层加深,气象因素影响减弱,而各处理与各位点处的含水量变幅相应减小。图3表明, IC_2 不仅油葵根系在高强度消耗土壤水分,而在南瓜坐果期(7月23日)后,其水分争夺效应直接波及南瓜种植行,收获期南瓜种植行即0 cm位点处40—80 cm土层含水量 IC_2 较Sp降低7.43 mm,距南瓜种植行100 cm位点处40—80 cm土层含水量 IC_2 较Sp降低7.02 mm;而 IC_1 则使南瓜种植行即0 cm位点处40—80 cm土层含水量较Sp增高6.39 mm。间种1行油葵不产生对南瓜种植行的水分竞争。

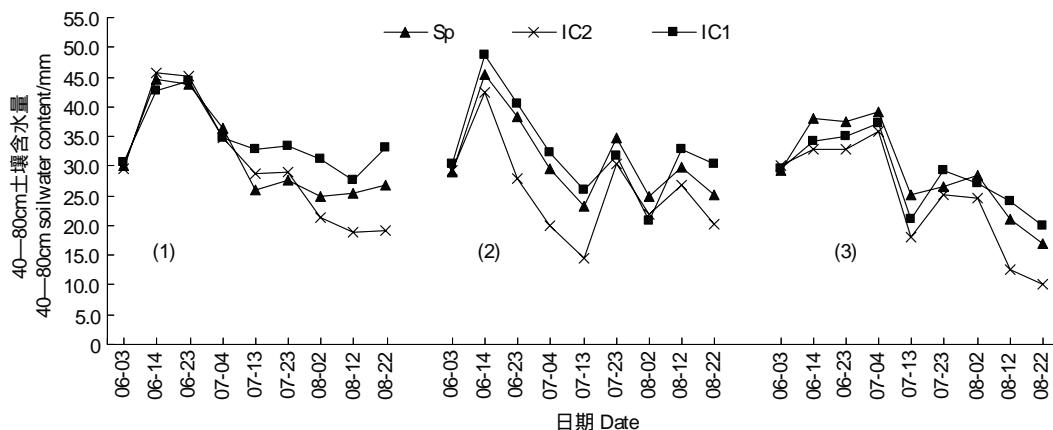


图3 不同处理南瓜行间不同位点40—80 cm土层土壤含水量

Fig. 3 Soil water content of 40—80 cm at different sites of pumpkin strip in different treatments

2.2 间种油葵对南瓜田不同时期不同位点土壤水分含量的影响

表3表明,在南瓜生育前期(6月3日—6月23日),距南瓜种植行不同位点的土壤含水量差异明显。由于地膜的保水效应,南瓜种植行即0 cm位点处0—80 cm土层土壤水分含量Sp、 IC_1 和 IC_2 平均高出距南瓜种植行50 cm位点处3.84 mm、2.59 mm和8.60 mm,高出距南瓜种植行100 cm位点处9.95 mm、10.76 mm和10.57 mm,冀西北高原春季多风低湿环境造成了土壤水分的强烈蒸发。

表3 南瓜不同发育时期不同位点土壤水分含量/mm

Table 3 Soil water content of pumpkin at different sites during different periods/mm

处理 Treatment	苗期(6月3日—6月23日) Seedling stage (Jun3—Jun23)			抽蔓开花期(6月23日—7月23日) Vine-extending and flowering stage (Jun23—Jul23)			果实生长期(7月23日—8月22日) Fruits growing stage (Jul23—Aug22)		
	0 cm	50 cm	100 cm	0 cm	50 cm	100 cm	0 cm	50 cm	100 cm
	Sp	91.98a	88.14b	82.03a	80.63b	79.74b	77.60a	57.18b	62.96b
IC_1	93.15a	90.56a	82.39a	87.31a	86.71a	76.48a	66.56a	70.06a	58.97a
IC_2	94.02a	85.42b	83.45a	84.28b	76.16b	70.96b	51.28c	58.05c	48.97b

字母相同表示LSD多重比较差异不显著(小写字母P<0.05,大写字母P<0.01)

进入南瓜生育中期(6月23日—7月23日),南瓜与间种油葵迅速生长,期间亦为区域雨季,土壤含水量随降水大幅度波动,不同位点含量表现仍为南瓜种植行即0 cm位点处>距南瓜种植行50 cm位点处>距南瓜种植行100 cm位点处,地膜的抗蒸保水作用明显。

南瓜生育后期(7月23日—8月22日),降水量减少,而作物进入产量形成期,耗水强度增加。表3表明,南瓜田各位点土壤含水量大幅度下降,到后期Sp、IC₁和IC₂3个不同处理的南瓜种植行即0 cm位点、距南瓜种植行50 cm位点和距南瓜种植行100 cm位点0—80 cm土层土壤平均含水量降到了51.28—66.56 mm,58.05—70.06 mm,48.97—59.75 mm,而未有根群直接耗水的Sp处理的100 cm位点含水量同样降至59.75 mm。表明这一时期减蒸发保蒸腾一直成为冀西北高原土壤水分管理的关键。

2.3 间种油葵对南瓜田不同时期土壤水分含量随土层深度变化的影响

各处理不同土层土壤水分含量在南瓜和油葵整个生育期间的变化如图4所示。随着土层深度的变化,各处理不同土层的土壤含水量也在变化:0—20 cm土层土壤为浅层土壤,受外界大气因子的影响,优先接受降水,因此其土壤含水量上升快,但又因为受地表蒸发和植株蒸腾的影响,其土壤含水量下降也较快,因此其土壤含水量变化幅度较大;20—40 cm土层土壤含水量变化幅度略小于0—20 cm。40—60 cm土层由于受地表蒸发作用消耗水分相对较小,同时又可接受上层土壤下渗的水分,另外,当根系吸收水分使土壤含水量降低时,可以通过根系的提水作用使深层水分上移,因此,该层土壤水分变化相对较缓和。60—80 cm土层土壤接受降雨更少,又没有下层的水分补给,再加上土壤水分容易形成渗漏,其含水量最小,变化幅度也最小。

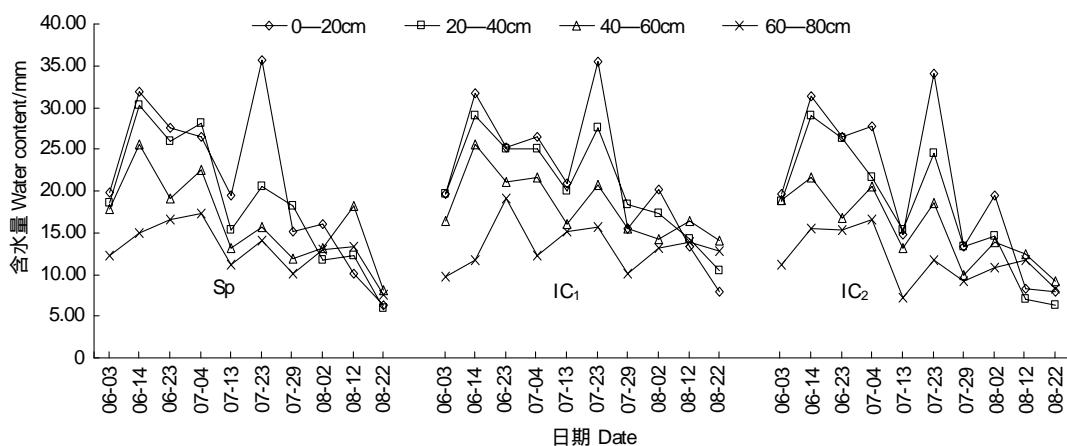


图4 不同处理生育期间不同层次土壤含水量

Fig. 4 Soil water content of different soil layers over time by treatments Sp, IC₁, and IC₂

图4表明,各处理不同土层土壤含水量在8月2日前表现出了相同的趋势,即0—20 cm和20—40 cm>40—60 cm>60—80 cm;8月2日后则发生了变化,40 cm以下土层土壤含水量高于40 cm以上土层土壤含水量,这是由于此期降雨量较少,地表的蒸发和植株的蒸腾不断消耗0—40 cm土层的水分,而对40—80 cm土层影响较小的所致。

2.4 间种油葵田的水量平衡时序分析

不同生育阶段各间作与单作水量平衡各分量变化如表4。表4表明在南瓜苗期阶段(6月3日—6月23日)蒸散量均小,占全生育期的6.93%—11.16%,Sp大部分土壤裸露,其蒸散占降水量的比例最大为60.58%,各处理均表现为土壤蓄水。抽蔓开花期(6月23日—7月23日)随着植株的生长,各处理蒸散量加大,此阶段蒸散量占全生育期的40.21%—53.87%,土壤蓄水量由盈余渐转亏损,IC₁由于对地表的遮荫与其相对较小的油葵生物量,其蒸散量为最小,阶段土壤贮水增加9.28 mm,而同期单作油葵的强烈耗水蒸散系数达126.04%,阶段土壤水分亏损25.63 mm。果实生长期植株的旺盛生长,阶段蒸散量占全生育期的39.21%—50.53%,由于降水不足,土壤成为蒸散耗水的主要供体,此期在油葵强烈耗水带动下,IC₂和IC₁耗

亏土壤水分达47.88 mm与48.71 mm,而 S_0 则由于田间前期耗水量大,此期土壤可耗之水减少,土壤供水量少,以至其下部叶片萎蔫干枯。

生育期降水的渗漏支出所占比重很小,只有0.07%—0.41%,87.81%—91.88%的农田蒸散耗水由降水提供,土壤水分的供应特别是生育后期的土壤水供应对作物产量形成起着重要作用,此期油葵相比南瓜更强的耗水能力使间种田生育后期耗水竞争力更强,南瓜处于争水劣势。

表4 不同处理的水量平衡比较

Table 4 Comparision of water balance in different treatments

时期 Stages	降雨量 (收入) Rainfall /mm	处理 Treat-ment	支出 Payout/mm			渗漏系数 Percolation coefficient /%	土壤蓄水 变化/收入 Variation of soil water storage/ Rainfall /%	蒸散/收入 Evaporation /Rainfall /%
			渗漏量 Water percolation	土壤蓄水 变化量 Variation of soil water storage	蒸散量 Evaporation			
苗期 Seedling stage	41.2	So	0.016b	25.26a	15.92c	0.04	61.31	38.64
		Sp	0.016b	16.22c	24.96a	0.04	39.37	60.58
		IC ₁	0.084a	20.78b	20.33b	0.20	50.44	49.34
		IC ₂	0.013b	20.63b	20.56b	0.03	50.07	49.90
抽蔓开花期 Vine-extendi-ng and flowering stage	98.1	So	0.080c	-25.63c	123.67a	0.08	26.12	126.04
		Sp	0.121b	1.12b	96.88b	0.12	1.14	98.74
		IC ₁	0.619a	9.28a	88.22c	0.63	9.46	89.91
		IC ₂	0.142b	-0.33b	98.31b	0.14	0.34	100.19
果实生长期 Fruits growing stage	62.3	So	0.043c	-27.76a	90.02c	0.07	44.56	144.49
		Sp	0.006d	-39.48b	101.77b	0.01	63.37	163.35
		IC ₁	0.130a	-48.71c	110.88a	0.21	78.19	177.98
		IC ₂	0.080b	-47.88c	110.10a	0.13	76.85	176.72
总计 Total	201.6	So	0.139c	-28.13c	229.59a	0.07	14.04	113.88
		Sp	0.143c	-22.14b	223.60b	0.07	10.98	110.91
		IC ₁	0.833a	-18.65a	219.42c	0.41	9.25	108.84
		IC ₂	0.235b	-27.59c	228.96a	0.12	13.69	113.57

2.5 南瓜油葵间作与单作的产量和水分利用效果

间作条件下,高秆油葵与蔓生南瓜地上株体不同的受光态势、地下根系不同的空间分布及对水分、养分的竞争与耦合效应,共同决定了复合群体的生产效果。表5表明,随间种油葵数量的增加,南瓜产量显著下降,IC₁经济产量较Sp降低了30.00%,IC₂较Sp降低了71.42%;而间种油葵单株产量相对单作田显著提高,IC₂较So提高了190.71%,IC₁较So提高了241.26%。间种两作物与单作田产量变化的比较,表明油葵具有更强的资源竞争能力,在复合群体中表现偏利效应,而南瓜处于偏害地位。

以限制性资源比较不同群体的生产效果表明,得益于油葵增产对南瓜减产的超补偿作用,IC₂的LER为1.08,IC₁为1.22;而考虑旱区更为短缺的水分资源,以WER为评价指标,IC₂的WER为1.07,IC₁达1.26。基于单作南瓜1.43倍于单作油葵的经济效益优势,IC₁的油葵产量超补偿使其经济产值与单作南瓜持平,而IC₂则减效20.69%;相应产值水分效率IC₁与Sp持平,IC₂与S₀较Sp降低22.55%—33.14%。

3 讨论

冀西北高原生境干旱,水分成为限制该地区农业发展的主因子,故选择抗旱作物、合理的种植方式和调整种植结构成为必要。选用早熟耐旱的南瓜采取聚水、集肥、覆膜的栽培措施,使大气供水与作物耗水时序吻合,降水聚集在南瓜根区集约利用,南瓜伸蔓后逐渐覆盖行间减弱土面蒸发,光热资源得以充分利用,南瓜产量得以保证。本研究结果表明,间种1行油葵不产生对南瓜种植行的水分竞争,间种两行油葵对南瓜种植行的水分产生了明显竞争。随间种油葵数量的增加,南瓜产量显著下降,IC₁经济产量较Sp降低了30.00%,IC₂

较 Sp 降低了 71.42%;而间种油葵单株产量相对油葵单作田显著提高,IC₂较 So 提高了 190.71%,IC₁较 So 提高了 241.26%。其原因显然不只与土壤资源竞争有关,更多的会涉及地上光热资源的竞争关系^[15-16]。这也与周可金等研究油菜与紫云英间混作系统的生理生态效应后得出的结论“间作产量优势的作物生态基础主要有两个方面,一是地上部光、热资源的充分利用,二是地下部水分和养分资源的充分利用”是一致的^[17]。

表 5 不同处理产量和水分利用效率

Table 5 Yield and water use efficiency of different treatments

项目 Item	S _p	IC ₁		IC ₂		So
		南瓜 Pumpkin	油葵 Sunflower	南瓜 Pumpkin	油葵 Sunflower	
生物产量 Dry biomass yield / (kg/hm ²)	3922.22aA	2986.66bB	4744.70cC	1387.57cB	7520.00bB	10320.00aA
经济产量 Economic yield / (kg/hm ²)	10277.78aA	7194.44bA	1530.00cC	2937.50cB	2606.70bB	3586.70aA
经济产值 Economic value / (元/hm ²)	20555.60aA	20508.90aA		16301.80bB		14346.80cB
耗水量 Water consumption/mm	223.60a	219.42a		228.96a		229.59a
产值水分利用效率 WUE of economics / (元·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	91.93a	93.47a		71.20b		62.49c
产量土地当量比 LER of biomass	1.00	1.22		1.08		1.00
产量水分当量比 WER of biomass	1.00	1.26		1.07		1.00

在本研究中,南瓜和油葵苗期生长量小,油葵没有对南瓜形成遮阴,植株都能有效利用光热资源,各处理间土壤水分无显著差异;进入抽蔓开花期后,间作 IC₁ 和 IC₂ 较南瓜单作 Sp 的土壤含水量高,其原因可能由于南瓜进入抽蔓开花期后,油葵处于开花结籽初期,此期油葵植株高度增加,南瓜瓜蔓伸长,随着南瓜冠层与油葵的接近,油葵使南瓜冠层的光合辐射减量,并使周围温度有所降低,进而导致土壤水分蒸发减少。南瓜进入结果期后,油葵进入籽粒充实期,均为作物产量形成期,由于此期降水量减少,作物耗水强度激增,但 IC₁ 由于只有一行油葵,对地表的遮荫与其相对较小的油葵生物量,其蒸散量小,对南瓜造成的影响较小,IC₂ 由于油葵数量加倍,其耗亏水分多于 IC₁,影响了南瓜的正常生育,使南瓜产量较单作降低幅度大,单作油葵 S_o 则由于田间前期耗水量大,此期土壤可耗之水减少,土壤供水量少,以至其下部叶片萎蔫干枯,因而其产量明显低于间作。所以在作物生育后期,高额的农田土面蒸发消耗了土壤水资源,减蒸发保蒸腾一直成为冀西北高原土壤水分管理的关键。

根系与地上部的生长紧密相关,相互影响^[18]。本研究中,油葵和南瓜间作后,由于油葵的竞争上位优势,南瓜根系的生长发育可能受到了一定程度的抑制,致使间作南瓜根系性状低于单作南瓜,间作油葵根系性状高于单作油葵。这是由于在冀西北高原无霜期短,绝大部分作物生长在同一时期,因此,南瓜和油葵根系的生长在时间上不存在补偿效应,这不同于张恩和等研究小麦与大豆间套作复合群体根系生长在年生长期显示双峰交错性^[19],也不同于刘浩等研究冬小麦和春玉米复合群体中麦收后对玉米的时间补偿效应^[20],同时冀西北高原坡梁地土壤贫瘠,各种作物的根系主要集中在耕作层^[21],因此,间作后两作物的根系在空间上的分布可能也无明显的交错性。

Morris R A^[22] 等对间作复合群体相对于单作水分消耗和利用效率的评价采用以下方法,间作相对于单作的水分捕获量(ΔWU)=[$WU_{ic}/(P_a WU_{sa}+P_b WU_{sb})$]⁻¹;间作相对于单作的水分利用效率(ΔWUE)={(Y_{ic}/WU_{ic})/[($P_a Y_a/WU_{sa}$)+($P_b Y_b/WU_{sb}$)]}⁻¹;式中 ic 表示作物 a、b 间作;sa、sb 表示作物 a、b 单作; P_a 、 P_b 表示两种作物 a、b 在间作中所占的比例;Y 为产量。其对于规则的且两作物都平行向上生长的间作应用很方便,但对很难确定间作作物之间比例或间种作物呈垂直生长形式的间混作,计算很困难。因此本文提出了水分当量比(WER)的概念,即获取与间作同等产量作物单作要求水分的总和。这就为不规则间混作对于单作的水分

利用效率评价提供了方便。本研究通过南瓜田间种植油葵,由于其地上部形成了垂直生长的复合体系,很难说清两种作物的种植比例,应用 WER 评价了此种植复合体系的水分利用效率,发现该复合群体的 WER 达 1.07—1.26,这得益于油葵的强水分竞争能力;然而研究表明,南瓜//油葵的经济产值却与 WER 相悖变化,只能持平与低于南瓜单作田;这在间种作物的生产优势与经济优势相左的背景下通常出现,上位低效作物与下位高效作物的间作^[23]使经济效益降低。由此,在兼具生产与经济优势的主作物田间种群结构的基础上,适量配置副作物组成复合群体,是为间作成功的重要机制。

4 结论

冀西北高原在经济高效的主作物南瓜行间种植经济效益低的副作物油葵,其复合群体共生期没有明显的水分竞争,虽共生后期油葵生长旺盛需水量大,尤其是南瓜田种植两行油葵出现了油葵与南瓜争夺水分的现象,由于油葵的竞争强势使南瓜的产量与南瓜单作相比下降 30.00%—71.42%,而间种油葵单株产量相对单作田提高 190.71%—241.26%,其复合群体的土地当量比 LER 和水分当量比 WER 分别达 1.08—1.22 和 1.07—1.26,但其经济效益与南瓜单作相比相形见绌。因此,该地区单作南瓜的栽培模式是区域经济高效、水资源高效利用的农作生产有效方式。

References:

- [1] Wen H D, Liu Y Z, Li X L, Li S W, Wang D W. Water and fertilizer coupling and dryland agricultural sustainable development. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(3):315-318.
- [2] Guo Z H, Zhang X D, Huang L L, Ju G S, Chen J Q. Solar energy and water utilization of *Quercus mongolica*, a deciduous broadleaf tree, in different light regimes across the edge of a deciduous broad-leaved forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4):1047-1056.
- [3] Wen H D, Li S W, Bi S Q, Zhang L F, Huang Y F. Effects of film mulching on ridge and over furrow for rainwater harvesting and increasing soil thickness on water consumption and yield of pumpkins. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11):53-57.
- [4] Huang W, Zhang J H, Chen J X, Zhang L F. The effect of potassium nutrition on yield and photosynthetic characteristic of small cushaw under plastic film mulch cover. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(5):86-89.
- [5] Zhang W Y, Liu B H, Peng H C, Li A G, Li Y Q. Study on inheritance of the drought-resistance identification indices in wheat varieties. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(S1):92-95.
- [6] Liu X Y, Zeng D H. Research advances in interspecific interactions in agroforestry system. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9):1464-147.
- [7] Ma X L, Lu G M, Xu Z L, Song Z M, Meng P, Zhang J S. Distribution characteristic of the root system of forest belt and crop within the composite system of agriculture and forestry. *Journal of China Agricultural University*, 1997, 2(1):109-116.
- [8] Li J X, Wan Z L. Microclimatic effect and soil moisture change of poplar-wheat intercropping systems in Huabei Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4):390-394.
- [9] Zhao Y, Zhang B, Wang M Z. Assessment of competition for water, fertilizer and light between components in the alley cropping system. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6):1792-1801.
- [10] Chen Q B, Wang K Q, Qi S, Sun L D. Soil and water erosion in its relation to slope field productivity in hilly gully areas of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8):1463-1469.
- [11] Zhang L F, Bian X J, Liu Y H. Studies on water consumption characteristics and effects of crops rotation in plateau of North Hebei Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(1):1-4.
- [12] Kang W X, Tian D L, Wen S Z, Shen X Y, Sheng L Y. Studies on the laws of evapotranspiration in a Chinese fir plantation and discuss on rapid current spread method. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1992, 16(4):336-345.
- [13] Meng G T, Lang N J, Fang X J, Li G X, Yuan C M, Wen S L. Hydrological properties and water balance of *Pinus armandii* plantation in Central Dian plateau, Yunnan Province. *Forest Research*, 2001, 14(1):78-84.
- [14] Liu Y H, Zhang L F. Quantitative evaluation of land use efficiency under different cropping patterns. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1):57-60.
- [15] Meng Y L, Zhou Z G. Studies on growing characteristics of intercropping cabbage with wheat. *China Vegetables*, 1996, (5):15-17.
- [16] Pei B H, Jia Y B, Wang W Q, Yuan Y X, Zhang Z J. Light intensity, soil water content and crop output under poplar-crop intercropping system. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1998, 21(2):28-33.
- [17] Zhou K J, Xing J, Bo Y H, Sang Y S, Wu S L, Song G L. Physiological and ecological effects of inter-and mixed cropping rape with milk vetch.

- Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(8) :1477-1481.
- [18] Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Correlations between characteristics of roots and those of aerial parts of soybean varieties. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(1) :72-75.
- [19] Zhang E H, Huang G B. Temporal and spatial distribution characteristics of the crop root in intercropping system. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(8) :1301-1304.
- [20] Liu H, Duan A W, Sun J S, Gao Y, Shen X J, Liu Z D. Spatiotemporal distribution patterns of winter wheat and spring maize root systems under intercropping. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6) :1242-1246.
- [21] Song J H, Zhang L F, Fan X H, Zhen X W. A study on growing properties of root system of naked oat. Journal of Agricultural University of Hebei, 2004, 27(3) :10-13.
- [22] Morris R A, Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping: water. Field Crops Research, 1993, 34(3/4) :303-317.
- [23] Sui P, Xu C, Qi F, Gao W S. Research of soil water consumption and its' sustaining evaluation of poplax II (wheat-corn)-agroforestry in HaiHe Low plain. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(10) :66-71.

参考文献:

- [1] 文宏达, 刘玉柱, 李晓丽, 李淑文, 王殿武. 水肥耦合与旱地农业持续发展. 土壤与环境, 2002, 11(3) :315-318.
- [2] 郭志华, 张旭东, 黄玲玲, 巨关升, Chen J Q. 落叶阔叶树种蒙古栎(*Quercus mongolica*)对林缘不同光环境光能和水分的利用. 生态学报, 2006, 26(4) :1047-1056.
- [3] 文宏达, 李淑文, 毕淑芹, 张立峰, 黄元仿. 沟垄覆膜聚水改土耕作措施对小南瓜耗水特性和产量的影响. 农业工程学报, 2006, 22(11) :53-57.
- [4] 黄伟, 张俊花, 陈建新, 张立峰. 钾营养对地膜覆盖小南瓜光合特性和产量的影响. 华北农学报, 2007, 22(5) :86-89.
- [5] 张文英, 柳斌辉, 彭海城, 李爱国, 栗雨勤. 小麦品种抗旱性鉴定指标遗传规律研究. 华北农学报, 2008, 23(supplement) :92-95.
- [6] 刘兴宇, 曾德慧. 农林复合系统种间关系研究进展. 生态学杂志, 2007, 26(9) :1464-1470.
- [7] 马秀玲, 陆光明, 徐祝龄, 宋兆民, 孟平, 张劲松. 农林复合系统中林带和作物的根系分布特征. 中国农业大学学报, 1997, 2(1) :109-116.
- [8] 李俊祥, 宛志泸. 淮北平原杨-麦间作系统的小气候效应与土壤水分变化研究. 应用生态学报, 2002, 13(4) :390-394.
- [9] 赵英, 张斌, 王明珠. 农林复合系统中物种间水肥光竞争机理分析与评价. 生态学报, 2006, 26(6) :1792-1801.
- [10] 陈奇伯, 王克勤, 齐实, 孙立达. 黄土丘陵区坡耕地水土流失与土地生产力的关系. 生态学报, 2003, 23(8) :1463-1469.
- [11] 张立峰, 边秀举, 刘玉华. 冀北高原作物耗水特性与倒茬效应研究. 中国农业科学, 2001, 34(1) :1-4.
- [12] 康文星, 田大伦, 文仕知, 谌小勇, 盛利元. 杉木人工林蒸散规律的研究及乱流扩散法应用的探讨. 植物生态学与地植物学报, 1992, 16(4) :336-345.
- [13] 孟广涛, 郎南军, 方向京, 李贵祥, 袁春明, 温绍龙. 滇中华山松人工林的水文特征及水量平衡. 林业科学研究, 2001, 14(1) :78-84.
- [14] 刘玉华, 张立峰. 不同种植方式土地利用效率的定量评价. 中国农业科学, 2006, 39(1) :57-60.
- [15] 孟亚利, 周治国. 麦田间作春甘蓝的生长发育特性. 中国蔬菜, 1996, (5) :15-17.
- [16] 裴保华, 贾渝彬, 王文全, 袁玉欣, 张振江. 杨农间作田的光强和土壤水分状况及其对农作物的影响. 河北农业大学学报, 1998, 21(2) :28-33.
- [17] 周可金, 邢君, 博毓红, 桑亚松, 吴社兰, 宋国良. 油菜与紫云英间混作系统的生理生态效应. 应用生态学报, 2005, 16(8) :1477-1481.
- [18] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究. 作物学报, 2002, 28(1) :72-75.
- [19] 张恩和, 黄高宝. 间套种植复合群体根系时空分布特征. 应用生态学报, 2003, 14(8) :1301-1304.
- [20] 刘浩, 段爱旺, 孙景生, 高阳, 申孝军, 刘战东. 间作模式下冬小麦与春玉米根系的时空分布规律. 应用生态学报, 2007, 18(6) :1242-1246.
- [21] 宋晋辉, 张立峰, 樊新华, 甄新文. 裸燕麦(*Avena nuda* L.)根系生长特性的研究. 河北农业大学学报, 2004, 27(3) :10-13.
- [23] 隋鹏, 许翠, 齐帆, 高旺盛. 海河低平原杨树II(小麦-玉米)土壤水分消耗研究及其可持续性评价. 中国农学通报, 2007, 23(10) :66-71.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.14 July,2011(Semimonthly)
CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains; a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiping, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts;a case study of Gurbantunggut Desert	WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

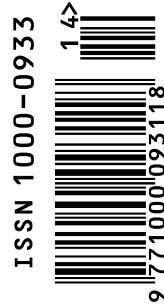
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元