

华北农牧交错带退耕区榆树幼林-南瓜间作的农田生态效应

杜 雄^{1,2}, 窦铁岭², 冯丽肖^{1,2}, 张维宏³, 张立峰^{1,2}

(¹河北农业大学农学院, 河北保定 071001; ²农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站, 河北张家口 076450;

³河北农业大学植物保护学院, 河北保定 071001)

摘要:【目的】针对华北农牧交错带退耕林地大面积荒芜资源无效流失的问题, 通过榆树幼林-南瓜带状间作, 达到林地高效利用与生态-经济效益协同增进的目的。【方法】采用田间试验和室内理化分析相结合的方法。【结果】榆树幼林与南瓜间作后, 瓜蔓覆盖地面, 显著提高了南瓜行间和榆树林地的土壤水分含量, 林-瓜间作地水分的利用效率较单作提高了 23.7%~163.3%; 间作改变了南瓜行间杂草群落自然演替的方向, 一年生杂草成为优势物种, 其饲用营养物质的含量和产量较林带间杂草显著提高。间作比单作南瓜增产 24.4%, 榆树生物量累积提高 28.4%, 杂草增产 144.4%, 南瓜的经济效益也提高了 23.2%。林-瓜间作比单作土地利用效率提高了 132%。监测表明, 榆树幼林-南瓜间作地的土壤输沙量与南瓜单作地、退耕榆林地间的差异均不显著, 没有因南瓜地的土壤耕作而提高土壤的风蚀量。【结论】华北农牧交错带退耕区榆树幼林-南瓜带状间作是区域生态-经济效益兼顾、综合利用林地资源的有效技术模式。

关键词: 华北农牧交错带; 退耕区域; 榆树幼林-南瓜带状间作; 生态-经济效益

Farmland Ecological Effect of Young Elm Forest – Pumpkin Strip Intercropping in De-farming Area in the Agriculture-Animal Husbandry Ecotone of North China

DU Xiong^{1,2}, DOU Tie-ling², FENG Li-xiao^{1,2}, ZHANG Wei-hong³, ZHANG Li-feng^{1,2}

(¹College of Agronomy, Agriculture University of Hebei, Baoding 071001, Hebei; ²Zhangbei Agricultural Resource and Ecological Environment Key Field Research Station, Ministry of Agriculture, Zhangjiakou 076450, Hebei; ³College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei)

Abstract: 【Objective】 In accordance with the actual problem of large area of barren lands and resource loss resulted from returning land for farming to forestry in agricultural and pastoral areas of North China, by using young elm forest-pumpkin strip intercropping, the purpose wanted to be achieved to realize the effective utilization of barren lands and ecological improvement and economic development. 【Method】 Field experiments combined with laboratory experimental estimation and analysis were adopted. 【Result】 With young elm forest-pumpkin strip intercropping, since the branch tendril covered the gap between pumpkin planting-ditches and elm forest land, the soil moisture was remarkably increased. And the water use efficiency under intercropping increased by 23.7%-163.3% compared with the sole cropping. Elm-pumpkin strip intercropping changed the sequential succession trend of the grasses growing in the gap of the pumpkin planting-ditch, annual grasses became the dominant vegetation, and the feeding nutrient matter content and yield of the annual grasses increased significantly. The biomasses of pumpkin, elm and grass under intercropping were increased by 24.4%, 28.4% and 144.4%, respectively, compared with those under sole cropping. The land use efficiency was increased by 132%. Results also indicated that the soil erosion from the intercropping land was not increased by planting pumpkin, the difference in soil erosion among intercropping land, elm forest land and pumpkin land with sole cropping was

收稿日期: 2007-12-27; 接受日期: 2008-02-05

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD15B05)和河北省“十一五”科技支撑计划(06220901D)

作者简介: 杜 雄(1979-), 男, 河北定州人, 博士, 研究方向为农牧系统耦合与资源高效利用。Tel: 0312-7528414; E-mail: duxiong@hebau.edu.cn.
通讯作者张立峰(1961-), 男, 河北深州人, 教授, 研究方向为农作制度和农业生态学。Tel: 0312-7528113; E-mail: zlf@hebau.edu.cn

not remarkable. 【Conclusion】 Young elm forest-pumpkin strip intercropping is an effective technical way to utilize the barren lands between the young forest elm belts effectively and realize synergistic enhancement of ecological benefit and economic profit.

Key words: The agricultural and pastoral areas of North China; Area returning land for farming to forestry; Young elm forest-pumpkin strip intercropping; Ecological benefit and economic profit

0 引言

【研究目的】高寒干旱是华北农牧交错带植被与生境演替的特征性制约因素^[1]。区域资源环境的退化,使华北农牧交错带地区成为距离首都北京最近的风沙源头之一,直接威胁着京津及华北地区的生态与经济安全。随着社会发展对良好生态环境的迫切需求,在国家政策的支持下,生态脆弱地区自 2000 年开始了有史以来首次主动的退耕^[2-5],旨在恢复与重建区域环境,增加资源存量。但近来研究发现,在干旱半干旱生态脆弱区大规模的人工造林会诱发严重的水资源短缺、导致林地植被覆盖度和植物多样性降低的负面影响^[6]。同时退耕还林后,林带间大面积的土地荒芜,随着杂草群落的自然演替,生物量和覆盖度逐渐降低,生态和经济效益下降。区域退耕后生物量退减高达 38.4%~72.3%,使农民追求的经济效益与国家需要的生态效益在退耕还林项目实施后产生了巨大差异^[7],造成 88.8%的农民希望获得政府对农业生产项目的支持而不是开展植树种草^[6];而退耕还林项目结束后一旦停止补贴,农民收入将锐减,农田会被重新开垦,“一退双还”获得的环境成果面临再次毁灭的危险,“反弹”损失巨大^[7]。本研究在华北农牧交错带退耕还林地上,于退耕幼林带间采用保护性耕作措施种植稀植经济作物小南瓜,对林带间荒草地达到生态-经济兼顾的高效利用的目的。【前人研究进展】对于生态退化的华北农牧交错区,前人研究主要集中在对区域不同类型土地的退耕对策^[8]、造林的适宜模式和生产潜力^[2-5],退耕后如何建立科学的经济补偿机制^[9-11],以及退耕区域生态系统生产力的演替与增进机制等方面^[7]。而农林复合系统的研究主要集中在农区,其经济效益^[12]、小气候变化^[13,14]和植物根系生长效应^[15,16]是深度研究的重点。华北生态脆弱区间作系统的研究主要集中在调整传统作物的田间配置,比如苜蓿-马铃薯的带状间作来滞留薯田的土壤风蚀^[17],黑麦草-苜蓿-马铃薯的间作以增大冬季地表覆被比率^[18]等。而退耕后重建新型植被群体结构,并兼顾生态-经济效益的研究在华北农牧交错区尚为空白。【本研究切入点】区域退耕后,如何兼顾与协调公众生态效益的需

求、农民经济收入的需要、以及国家财富总体增长三者的关系,成了迫切需要解决的问题。本研究在华北农牧交错带退耕区采用保护性耕作措施,改传统密植作物为稀植经济作物,在退耕后的榆树幼林带间种植小南瓜,揭示幼林-南瓜间作的经济与生态效应。【拟解决的关键问题】为退耕区域有效重建植被,增加农民收入,保持持久生态恢复和经济发展动力提供思路和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

田间试验于 2006 年至 2007 年在河北省张家口市国家农业部张北试验站进行。试验地点位于 41°11.35' N, 114°51.20' E, 试验站主要条件代表了华北农牧交错区。该区域生境高寒干旱,年均温 2.6℃,降水量 393.2 mm,无霜期 103 d。试验地为砂质栗钙土,0~20 cm 土层有机质含量为 12.1 g·kg⁻¹,全氮 0.89 g·kg⁻¹,全磷 0.18 g·kg⁻¹,速效氮、磷、钾分别为 71.7、2.5、60 mg·kg⁻¹,容重 1.54 g·cm³,pH 7.2。

1.2 试验设计

供试林带为张北县 2001 年退耕后栽种的榆树幼林。林带为四行式,株行距为 1.5 m×1 m,林带间距 9 m。2005 年开始预试验,选择生长较为一致的林带 6 带,平均株高 70 cm,地茎 1.23 cm。2005~2007 年连续 3 年选择其中 3 带,在其带间离林带 2 m 和 4.5 m 的地方种植小南瓜,每个带间种植 3 行。南瓜种植行施用有机肥后旋耕整地,幅宽 1 m,随后采用覆膜机条施化肥(磷酸氢二铵+尿素,折合 N 60 kg·ha⁻¹,P₂O₅ 45 kg·ha⁻¹)起垄覆膜一次完成,覆膜宽度为 90 cm。南瓜种植行形成保水富肥带,行间 2 m 免耕免管为杂草覆盖。林-瓜带状间作为主处理,长度 70 m。以其余 3 带单作带林与邻近农田单作南瓜为间作的对照,单作南瓜田施肥与种植方式同间作,试验设置 3 次重复。这样形成了以下 3 组对比:林瓜间作的榆树幼林-非实施间作即单作的榆树幼林、林瓜间作中南瓜种植行间的杂草-非间作林带间荒地的杂草、林瓜间作的南瓜-单作南瓜。林-瓜间作示意图如图 1。

2005~2007 年每年的 5 月 15 日在试验站的温室

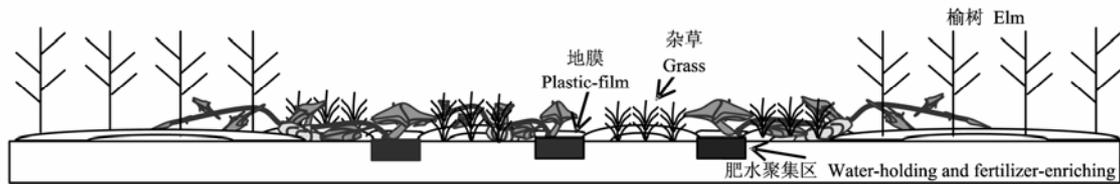


图 1 榆树幼林-小南瓜带状间作示意图

Fig. 1 Diagrammatic presentation of young elm forest – pumpkin strip intercropping

内纸筒培育南瓜苗，品种为韩国的太阳，待秧苗长出 1~2 片真叶时，点水移栽大田。株距为 40 cm，密度为 9 000 株/ha。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生物产量的测定 在南瓜各生育阶段每小区取样，烘干后测干重、出干率，计算南瓜干物质的生产效果。在榆树出芽前、生长中和落叶前，各测定 10 株榆树的地径和株高，并从地面处将其取下，烘干后称重，综合计算得到 30 株幼年榆树干重 (y) 与其地径 (D) 和株高 (H) 的相关方程 $y=45.4386+0.321D^2H$ ($R^2=0.9237$)。在南瓜取样的同时，测定榆树的株高、地径，依据方程计算同期内榆树干物质的累积重量。在南瓜行间和单作林带间选取 1 m×2 m 样方，作为杂草取样点，烘干测定杂草生物产量。

1.3.2 土壤水分的测定 从南瓜移栽前（即榆树发芽时）到收获止，在南瓜各生育阶段钻取林带、南瓜种植行和行间杂草地 0~80 cm 土层土样，采用烘干法测定土壤含水量。生育期内跟踪监测降水量。

土壤水贮量 (mm) = 土层厚度 (cm) × 土壤容重 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) × 10 × 土壤含水量 (%)。

南瓜各生育阶段田间耗水量 (mm) = 本生育阶段

初土壤水贮量 + 降水量 - 本生育阶段末土壤水贮量。

1.3.3 杂草样品养分的测定 最后一次所取得杂草样品烘干后粉碎，半微量凯氏定氮法测定全氮和粗蛋白 ($N\times 6.25$)、残余法测定粗脂肪、重量法测定粗纤维、灼烧法测定粗灰分^[19,20]。

1.3.4 林-瓜间作和单作田土壤输沙量的测定 采用 BSNE 集沙仪于春季大风天 10:00~17:00 监测间作和单作的开阔地上的输沙量。每一样地与风向垂直排列 3 组集沙仪，分别测定 20、50、100、150 和 200 cm 高度的输沙量。集沙仪布局满足临界地长的需要，监测输沙量时同步测定风速和风向。

1.3.5 数据处理 2005 年试验为预试验，从 2006~2007 年进行数据采集，论文中数据为两年的平均结果，使用 Excel2003 作图和 SAS8.12 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 幼林与南瓜的间作与单作下各植物生物产量比较

以南瓜的生育期为时间标准，以各植物表观占地面积为参照，比较相同时段内南瓜，杂草和榆树生物量的差异。连续两年榆树幼林和南瓜间作的平均结果见表 2。

表 1 间作与单作条件下南瓜，杂草与榆树的生物产量 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) 和经济产值 (yuan/ha)

Table 1 Biomass yield and economic value of pumpkin, grass and elm under strip intercropping and sole cropping

生育时期 Growth stage	南瓜 Pumpkin		杂草 Grass		榆树 Elm	
	间作	单作	间作	单作	间作	单作
	Intercropping	Sole-cropping	Intercropping	Sole-cropping	Intercropping	Sole-cropping
伸蔓前 Before vine-extending May 15-Jul 4	42.9 a	43.4 a	423.7 a	175.8 b	86.4 a	84.3 a
伸蔓~开花 Vine-extending~ flowering Jul 5-Jul 22	653.2 a	581.3 a	634.5 a	252.4 b	172.5 a	130.1 b
开花~果实膨大 Flowering-fruit expansion Jul 23 - Aug 14	1979.4 a	1547.9 b	696.6 a	288.6 b	184.1 a	138.5 b
果实膨大~成熟 Fruit expansion-mature Aug 15-Sep 1	786.5 a	621.3 b	-34.4 b	-13.1 a	91.5 a	81.2 b
全生育期 Whole growth period May 15-Sep 1	3465.0 a	2793.9 b	1720.4 a	703.7 b	534.4 a	434.1 b
经济产值 Economic output value (yuan/ha)	10350 a	8400 b	-	-	-	-

不同字母表示每种植物在同一生长期间作与单作在 0.05 水平上的差异显著性。下同

Different letters are significant at 0.05 level for the difference of each plant between intercropping and sole-cropping in the same growth stage. The same symbol is used for other tables

每个时段杂草的生物产量间作与单作间的差异都达到了显著水平。南瓜从开花以后, 间作的优势开始显现, 其生物产量间作与单作间差异显著。榆树在南瓜伸蔓后, 同南瓜间作下的生物量累积与单作的差异显著。从全生育期看, 这三种植物的生物量间作与单作的差异都达到了显著水平。由于间作, 平均单位面积上南瓜增产 24.4%、榆树生物量增产 28.4%、杂草增产 144.4%。间作条件下, 南瓜带行往林带方向伸蔓, 中间行往两侧的生长, 这样最大程度的延展了南瓜的光合面积。而南瓜单作条件下, 南瓜枝蔓相互遮光而影响了光合产物的积累, 造成产量的降低。由于间作的增产效果, 南瓜的经济效益也提高了 23.2%。而对南瓜进行田间作业所产生的土壤扰动, 有效地翻埋了一年生杂草的种子, 这是间作南瓜行间一年生杂草较单作区杂草增产的重要原因之一。可以用土地当量比(LE_R)来表征林瓜带状间作的资源利用综合效果。所谓土地当量比即为以获得单位面积间作群体中各作物同等产量所需的各作物单作面积的总和, 依据 LE_R 的定义估算林瓜带状间作系统的占地面积, 并计算得到 LE_R=2.32, 表明林-瓜间作的土地利用效率比单作提高了 132%。

2.2 间作与单作下各植物的田间水分效应

2.2.1 间作与单作下各植物的田间土壤水分变化

作与单作条件下各植物带的田间土壤水贮量见表 2。在南瓜移栽前后, 由于地膜的保水作用, 无论间作还是单作, 南瓜田 0~80 cm 土壤的水贮量均高于杂草地和榆林地, 差值为 6.0~10.1 mm, 这种情况一直持续到南瓜伸蔓。从南瓜移栽到伸蔓, 杂草地和榆林地的土壤贮水量间作与单作间的差异并不显著, 这表明这一时段林带间作南瓜并没有改变行间杂草地和榆林地土壤的水分含量。南瓜伸蔓以后, 其叶面积和生物量迅速增大, 蒸腾耗水也随之增强。到开花时, 间作下的土壤水贮量南瓜种植行比榆林地和杂草地低 10.0~19.3 mm, 但南瓜田间作与单作间差异并不显著。从南瓜开花后直至成熟, 南瓜蔓布满整个行间和部分林地, 对地表起到了覆盖作用, 直接表现为间作的南瓜行间杂草地和榆林地土壤水贮量的显著增加, 这一时段间作与单作间的土壤水贮量差值杂草地稳定在 18.7~19.7 mm, 榆林地为 10.9~11.9 mm。对于华北农牧交错区, 干旱是植被生长的决定性制约因素, 林带间作“占天不占地”的爬蔓稀植作物小南瓜对地表的覆盖减蒸效果, 有效提高了林地和行间杂草地的土壤水贮量, 这是林瓜带状间作下榆树和杂草地生物量显著高于单作的又一个重要原因。

2.2.2 间作与单作下各植物的耗水效果

表 2 间作与单作条件下南瓜, 杂草与榆树的田间 0~80 cm 土壤水贮量 (mm)

Table 2 Soil moisture in pumpkin, grass and elm forest field in 0-80 cm soil layer under strip intercropping and sole-cropping

生育时期 Growth stage	南瓜 Pumpkin		杂草 Grass		榆树 Elm	
	间作	单作	间作	单作	间作	单作
	Intercropping	Sole-cropping	Intercropping	Sole-cropping	Intercropping	Sole-cropping
移栽前 Before transplanting May 15	50.2 a	52.8 a	44.2 a	43.8 a	42.7 a	44.1 a
移栽 Transplanting Jun 7	54.6 a	55.4 a	45.4 a	48.4 a	47.2 a	45.4 a
伸蔓 Vine-extending Jul 5	81.8 a	78.8 a	64.3 a	65.6 a	71.2 a	67.6 a
开花 Flowering Jul 22	56.4 a	58.5 a	75.7 a	56.4 b	66.4 a	55.5 b
膨大 Fruit expansion Aug 14	31.2 a	34.7 a	50.7 a	31.9 b	43.1 a	31.2 b
成熟 Mature Sep 1	34.4 a	35.8 a	55.4 a	36.7 b	45.7 a	34.3 b

瓜的生育时期为时间标准, 比较相同时段间作与单作各植物的耗水效果(表 3)。南瓜的田间耗水量从移栽时计。在南瓜伸蔓前, 3 种植物的间作和单作田间耗水量差异不显著, 且这一时段内, 各植物间作与单作的生物累积量相当, 故水分利用效率无显著差异。由于田间耗水量小于降水量, 表现为土壤含水量的增加。南瓜伸蔓后到开花, 各植物生长旺盛, 南瓜藤蔓爬满行间杂草地, 这一时期, 行间杂草地的土壤水贮

量盈余 11.4 mm, 而单作条件下, 杂草地土壤水分亏损 9.2 mm, 南瓜行间一年生杂草生长旺盛, 其水分利用效率比杂草地提高了 2.23 倍; 榆林地也因南瓜蔓的部分覆盖, 其耗水量比单作少 7.3 mm, 水分利用效率提高了 54.4%。而这一时段, 南瓜间作和单作各指标差异不大。南瓜开花到果实膨大, 各植物生物量继续迅速累积, 由于这一时段降水量小于耗水量, 土壤含水量净减少, 正是由于降水不足, 充分显现出间作较

单作的对水分具有高效利用的效应, 南瓜田水分利用效率提高了 25.6%, 杂草地提高了 139.9%, 榆林地提高了 35.1%。在南瓜膨大到成熟这一时段, 间作比单作, 南瓜田水分利用效率提高了 52.4%, 榆林地提高了 6.6%。从全生育期来看, 间作比单作杂草地少耗水 18.3 mm, 榆林地少耗水 12.7 mm。杂草地和榆林地在

间作条件下表现为土壤水分盈余, 而单作亏损。水分利用效率间作南瓜田较单作提高了 23.7%, 杂草地提高了 163.3%, 榆林地提高了 35.3%。林带间作小南瓜促成带间一年生杂草为优势物种。一年生禾草和小南瓜生育时序与降水时序相吻合, 是其大幅度提高降水利用效率的根本原因。

表 3 间作与单作条件下南瓜、杂草与榆树的耗水效果 (mm)

Table 3 The water consumption effect of pumpkin, grass, and elm forest under strip intercropping and sole cropping

生育时期 Growth stage	降水量 Precipitation (mm)	项目 Item	南瓜 Pumpkin		杂草 Grass		榆树 Elm	
			间作 Intercropping	单作 Sole-cropping	间作 Intercropping	单作 Sole-cropping	间作 Intercropping	单作 Sole-cropping
伸蔓前 Before vine-extending May 15-Jul 4	80.2	耗水量 Water consumption (mm)	53.0 a	56.8 a	78.7 a	77.0 a	70.3 a	75.3 a
		土壤水分变化 Soil moisture fluctuation (mm)	27.2 a	23.4 a	20.1 a	21.8 a	28.5 a	23.5 a
		水分利用效率 Water use efficiency (kg·mm ⁻¹ ·ha ⁻¹)	0.81 a	0.76 a	5.38 a	2.28 b	1.23 a	1.12 a
伸蔓~开花 Vine extending- flowering Jul 5-Jul 22	84.5	耗水量 Water consumption (mm)	109.9 a	104.8 a	73.1 b	93.7 a	89.3 a	96.6 a
		土壤水分变化 Soil moisture fluctuation (mm)	-25.4 a	-20.3 a	11.4 a	-9.2 b	-4.8 a	-12.1 b
		水分利用效率 Water use efficiency (kg·mm ⁻¹ ·ha ⁻¹)	5.94 a	5.55 a	8.68 a	2.69 b	1.93 a	1.35 b
开花~果实膨大 Flowering- fruit expansion Jul 23-Aug 14	46.9	耗水量 Water consumption (mm)	72.1 a	70.7 a	71.9 a	71.4 a	70.2 a	71.2 a
		土壤水分变化 Soil moisture fluctuation (mm)	-25.2 a	-23.8 a	-25 a	-24.5 a	-23.3 a	-24.3 a
		水分利用效率 Water use efficiency (kg·mm ⁻¹ ·ha ⁻¹)	27.45 a	21.89 b	9.69 a	4.04 b	2.62 a	1.94 b
果实膨大~成熟 Fruit expansion- mature Aug 15-Sep 1	13.5	耗水量 Water consumption (mm)	10.3 a	12.4 a	8.8 a	8.7 a	10.9 a	10.4 a
		土壤水分变化 Soil moisture fluctuation (mm)	3.2 a	1.1 a	4.7 a	4.8 a	2.6 a	3.1 a
		水分利用效率 Water use efficiency (kg·mm ⁻¹ ·ha ⁻¹)	76.36 a	50.11 b	-	-	8.39 a	7.81 a
全生长季 Whole growth period May 15-Sep 1	243.7	耗水量 Water consumption (mm)	245.3 a	244.7 a	232.5 b	250.8 a	240.7 b	253.5 a
		土壤水分变化 Soil moisture fluctuation (mm)	-20.2 a	-19.6 a	11.2 a	-7.1 b	3.0 a	-9.8 b
		水分利用效率 Water use efficiency (kg·mm ⁻¹ ·ha ⁻¹)	14.13 a	11.42 b	7.40 a	2.81 b	2.22 a	1.71 b

2.3 幼林-南瓜间作与单作条件下杂草群落与其饲用营养成分的比较

在间作条件下, 南瓜行间杂草以狗尾草、猪毛菜、灰绿藜、草木樨、田旋花和苦苣菜等草种为主, 而在林带荒草地上以粗隐子草、米蒿、刺菜、针茅和鹤虱居多, 这些杂草对于畜牧业来说, 大多适口性差。间作条件下, 南瓜田间管理对土壤的扰动, 使一年生杂草成为优势物种。林瓜间作条件下南瓜行间杂草和林带间杂草的饲用营养成分含量比较表明(图 2), 在间作条件下, 杂草的粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)和粗灰分(CA)的含量与退耕地条件下的杂草相比差异显著, 其含量分别提高了 2.55、1.10 和 1.15 个百分点, 而粗纤维(CF)含量显著降低了 4.70 个百分点, 这无疑提高了间作地杂草对畜牧业的经济价值。就不同生长方式下的杂草营养成分的产量而言(图 3), 间作条件下粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分增长显著, 增长率分别为 78%、83%、101%和 187%。总之, 林瓜间作改变了林带间植物群落自然演替的方向, 使一年生杂草成为优势物种, 这些杂草在覆盖地面抵抗土壤风蚀的同时, 也具备了一定的经济效益。

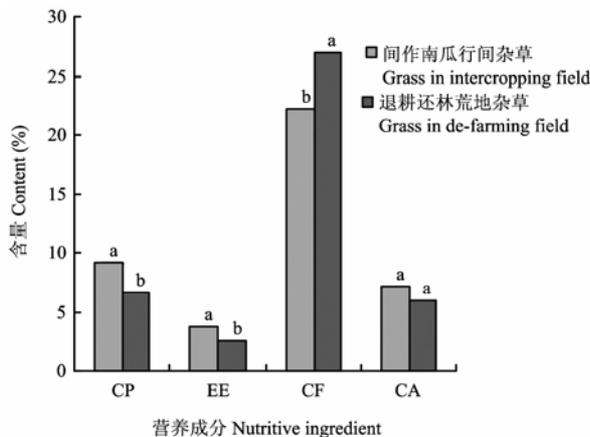


图 2 退耕地和间作地杂草饲用营养成分含量

Fig. 2 The nutritive ingredient content of the grass in intercropping and forestry field

2.4 幼林、南瓜间作与单作条件下土壤输沙量的比较

春季劲风和微风条件下带状间作系统区和单作区 0~2 m 高度的输沙量见表 4。在劲风(风速 $\geq 8.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ NW)条件下, 以林-瓜间作地的输沙量最少, 单作南瓜地最大, 林-瓜间作地输沙量比单作南瓜地和单作林带地分别减少 5.3%和 4.5%, 但差异不显著。在

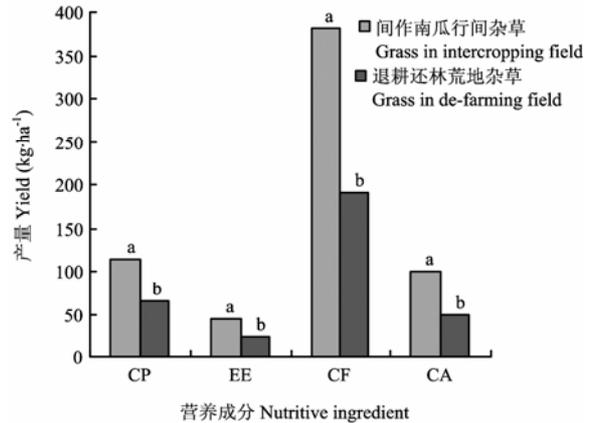


图 3 退耕地和间作地杂草饲用营养成分产量

Fig. 3 The nutritive ingredient yield of the grass in intercropping and forestry field

微风(风速 $\leq 5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ NW)下, 输沙量以单作南瓜地最大, 林-瓜间作地次之, 林带地最小, 三者间的差异也不显著。可见, 在林带间种植稀植作物南瓜, 采用“覆膜保水集肥”的技术措施, 由于地膜和瓜蔓的覆盖以及间作对杂草和榆树幼林的促生长作用, 无论在微风还是在劲风条件下, 都没有增加耕作地的输沙量, 林带间作小南瓜不仅保证了生态效益, 而且获得了较好的经济效益。单作南瓜田和林带的输沙量比较表明, 劲风和微风条件下二者差异均不显著。由此可见, 华北农牧交错区采用“覆膜保水集肥”保护性耕作措施进行林瓜带状间作是一种生态-经济兼顾的新型种植方式。南瓜与榆树幼林间作, 除生态经济兼顾外, 还高效利用了退耕后的林间荒地, 增加区域的生物产量。

3 讨论

在农林复合系统中, 树木和农作物的水分关系一直是研究者关心的问题^[21,22]。多数研究者认为, 如果不进行管理, 许多树种与农作物的水、光竞争是不可避免的^[21~23]。农作物与林木的光、水竞争与自然环境、农作物种类和树种特性有很大关系。前人研究毛白杨与大豆、花生、小麦间作的效应表明, 幼林期间农林间作不仅能改善林地土壤水分状况, 也能明显改善树体营养状况, 促进林木生长, 这与间作时的及时灌溉、作物覆盖地面和林分对小气候的影响有直接关系^[12]。而华北农牧交错区退耕地 6~7 年生榆树带林由于树高不足 2 m, 树冠直径不足 40 cm 且不浓密, 在林带

表 4 间作与单作条件下南瓜、杂草与榆树地的输沙量比较

Table 4 The soil erosion comparison in pumpkin, grass and elm forest under strip intercropping and sole-cropping ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)

观测次数 Repeat	劲风 (风速 $\geq 8.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ NW)			微风 (风速 $\leq 5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ NW)		
	Hard wind (wind velocity $\geq 8.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)			Soft wind (wind velocity $\leq 5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	林—瓜间作 Elm-pumpkin with intercrop	单作南瓜 Pumpkin with sole-planting	单作林带 Elm belt with sole-planting	林—瓜间作 Elm-pumpkin with intercrop	单作南瓜 Pumpkin with sole-planting	单作林带 Elm belt with sole-planting
1	2010	2134	1928	50	53	53
2	1820	2125	2124	45	50	44
3	2140	1785	2096	50	47	49
4	2095	1978	2113	55	46	45
5	1630	2145	1907	45	50	50
6	2040	2228	2117	45	45	42
平均 Average	1956 a	2066 a	2048 a	48 a	49 a	47 a

表中输沙量为每个观测日 5 个高度 (20、50、100、150 和 200 cm) 采样器的集沙量之和

The data in the table are the sum of the collected quantities in the five high degrees (20, 50, 100, 150 and 200 cm) in each observation day

内间作稀植经济作物小南瓜, 没有由于树冠的遮光而影响小南瓜正常生长, 也未发生与农作物争水争肥的现象。而林带间的荒草地, 杂草覆盖度低, 地面板结毛管联通, 造成土壤水分的快速蒸发, 这对于生态脆弱区的雨养植被是一大损失。因此, 林带间种植南瓜, 南瓜蔓在榆树幼林地延伸遮盖地面, 有效减少了水分的土面蒸发, 保持了林带较高的土壤水分含量, 促进了榆树的生长和生物产量的积累, 尤其在干旱年份, 可以起到缓解林带树木的水分胁迫作用。林—瓜间作还有效提高了林带间杂草的生物量。干旱的农牧交错区土壤荒漠化程度日益加剧的一个深层次原因是区域生物生产力过低^[24], 从这层意义上说, 林—瓜间作可加快植被恢复, 有效地防治土壤风蚀沙化。

雨水积存叠加与高效利用是干旱半干旱区开发有限降水资源的有效途径, 种植宽行大株距且高经济效益的作物是高效利用降水的良好选择。选用早熟和耐旱特点的小南瓜采取“聚水、集肥、沟作、覆膜”的栽培措施, 生长季降水汇于小南瓜根区集约利用, 小南瓜展蔓覆盖行间和林地充分利用光热, 实现了以光代水, 高效用水。通过同田块内以水肥为核心的微域生境分化与南瓜生产耦合, 高效利用当地有限的光、热、水等自然资源。本试验还表明, 春季降雨后, 人工将越冬的残膜拾起, 随后种植沟机械旋耕, 机械施肥覆膜一次性完成, 实现了南瓜种植沟周年的地膜覆盖, 既避免了种植沟的土壤风蚀, 又保住了沟内的土壤水分。小南瓜是典型的喜凉作物, 利用华北农牧交错区得天独厚的冷凉气候优势进行错季生产, 于夏秋

季节销往温带地区。适地适季生产, 易地错季供应, 发挥市场独占性的优势, 在退耕的荒草地上实现了单位面积产值和纯收益较当地主栽作物莜麦经济效益 10 余倍的提高, 由此能够启动区域开放性的市场农业的过程^[7]。故通过榆树幼林带间集约化生产小南瓜, 建立农林耦合的新型农作系统, 实现了林带荒地的适度开发、大幅度提高了经济效益, 促进了生态-经济兼顾的系统生产力的增进。

对于农牧交错区的发展战略, 农学家基于发展农业持续生产力的观点, 提出在该区实行少、免耕的农业耕作种植, 以解决起尘扬沙问题^[25-29]。然而农田春季播种仍不可避免地破损地表, 而此时正值北方大风肆虐, 减弱了防沙减尘的作用。另外, 在这样一个生境过渡性地带内发展不稳定的传统旱作农业, 生产力低而不稳, 经济效益不高。而林学家主要从生态保护的角度出发, 提出退耕还林、建设防护林带的思路。诚然退耕还林、恢复植被、改善生态环境的作用不容置疑, 但半干旱区降水难以满足乔木生长的需求^[30,31], 加之地表没有灌草覆被, 纯林防风固沙的效果也不明显^[32]。同时, 从经济价值角度看, 林业是长效产业, 中、短期效益较弱, 且不易更替, 难以解决社会所需求的改善生态环境的长远利益与农民增收的当前利益之间的矛盾。相对而言, 在退耕建立带林基础上, 合理开发利用林带间荒草地, 发展稀植经济高效作物小南瓜, 配以合理的“聚水、集肥、沟作、覆膜”的保护性耕作措施, 既可有效抑制林带间荒草地的自然退化增生物量和促进榆树幼林的生长, 又可以之为组

带通过市场交换的作用,使系统间、区域间的优势得到互补和有机耦合,把农林牧各系统高效连接起来,能够极大地提高区域资源的综合利用效率。同时,由于市场的作用,延长产业链,发展潜力大,可以把短、中、长期经济发展有机结合起来,促进区域生态、经济、社会的协调持续发展。

4 结论

榆树幼林与南瓜带状间作,提高了南瓜的生物产量和经济产值,间作比单作南瓜增产 24.4%,榆树生物量累积提高 28.4%,杂草增产 144.4%,南瓜的经济效益也提高了 23.2%。林一瓜间作比单作土地利用效率提高了 132%。南瓜田间管理对土壤的扰动,促成一年生杂草成为南瓜沟间的优势物种,杂草的生物产量较退耕荒草地显著提高,粗蛋白、粗脂肪和粗灰分等饲用营养成分的含量和产量较退耕荒草也显著增加,这对于区域粮草短缺的畜牧业具有重要意义。由于南瓜藤蔓对行间和榆树幼林地的遮盖作用,有效地抑制了行间和榆树幼林地土壤水分的蒸发,使杂草和榆树幼林生物量增加显著,相应间作地上植物的水分利用效率提高了 23.7%~163.3%。对间作地和单作地上的土壤输沙量监测表明,由于南瓜种植带残膜覆盖和杂草、瓜蔓覆盖越冬,榆树幼林-南瓜间作地的土壤输沙量与南瓜单作地、退耕榆林地间差异均不显著,没有因南瓜田的土壤耕作而提高土壤的风蚀量。因此,华北农牧交错区榆树幼林-南瓜带状间作是生态-经济效益兼顾、有效利用退耕还林地林带间次生环境资源的适用技术手段。

References

- [1] 张立峰. 高寒半干旱区旱地农业科技进展与展望. 见: 刘树庆, 刘玉华, 张立峰. 高寒半干旱区农牧业持续发展理论与实践. 北京: 气象出版社, 2001: 1-15.
Zhang L F. Agricultural science and technology progress and forward in cold-semiarid areas. In: Liu S Q, Liu Y H, Zhang L F. *Sustainable Development Theories and Practices of Agriculture and Animal Husbandry in Cool-semiarid Areas*. Beijing: China Meteorological Press, 2001: 1-15. (in Chinese)
- [2] 王冬梅, 周心澄, 贺康宁, 李世荣, 史常青, 常国梁. 青海大通退耕还林工程区主要造林树种生产潜力. 生态学报, 2004, 24(12): 2984-2990.
Wang D M, Zhou X C, He K N, Li S R, Shi C Q, Chang G L. The potential productivity of the main species used in the Datong reforestation project on former farmland, Qinghai Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2984-2990. (in Chinese)
- [3] 伍光和, 王文瑞. 地域分异规律与北方农牧交错带的退耕还林还草. 中国沙漠, 2002, 22(5): 439-442.
Wu G H, Wang W R. Regionalization and revegetation in the agricultural and pasturing interlaced zone of China. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(5): 439-442. (in Chinese)
- [4] 贺金红, 廖允成, 胡兵辉, 程天娇. 黄土高原坡耕地退耕还林(草)的生态经济效应研究. 农业现代化研究, 2006, 27(2): 110-114.
He J H, Liao Y C, Hu B H, Cheng T J. On relation between grain for green and grain safety in sloping land of Loess Plateau. *Research of Agricultural Modernization*, 2006, 27(2): 110-114. (in Chinese)
- [5] 马永欢, 樊胜岳. 沙漠化地区退耕还林政策的生态经济效应分析——以民勤县为例. 自然资源学报, 2005, 20(4): 590-596.
Ma Y H, Fan S Y. Eco-economic effect of actualizing de-farming and reforestation policy in desertification areas: Taking Minqin county as a case. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 590-596. (in Chinese)
- [6] 曹世雄, 陈军, 陈莉, 高旺盛. 退耕还林项目对陕北地区自然与社会的影响. 中国农业科学, 2007, 40(5): 972-979.
Cao S X, Chen J, Chen L, Gao W S. Impact of grain for green project to nature and society in North Shaanxi of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(5): 972-979. (in Chinese)
- [7] 杜雄, 张立峰. 论华北农牧交错区退耕区域生态系统生产力的演替与增进机制. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2788-2795.
Du X, Zhang L F. Succession and enhancement mechanism of ecosystem productivity in the de-farming regions of the ecotone between agriculture and animal husbandry in North China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12): 2788-2795. (in Chinese)
- [8] 刘玉华, 张立峰. 冀西北高原植被生产力与退耕对策. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2113-2116.
Liu Y H, Zhang L F. Actual productivities of different vegetations in northwest plateau of Hebei province and strategies of converting farmland to forest and pasture land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2113-2116. (in Chinese)
- [9] 黄富祥, 康慕谊, 张新时. 退耕还林还草过程中的经济补偿问题探讨. 生态学报, 2002, 22(4): 471-478.
Huang F X, Kang M Y, Zhang X S. The economic compensation strategy in the process of turning cultivated land back into forests and grassland (TCFG). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 471-478. (in Chinese)
- [10] 支玲, 李怒云, 王娟, 孔繁斌. 西部退耕还林经济补偿机制研究. 林业科学, 2004, 40(2): 2-8.
Zhi L, Li N Y, Wang J, Kong F B. A discussion on the economic

- compensation system for conversion of cropland to forestland in the western China. *Scientia Silvae Sinica*, 2004, 40(2): 2-8. (in Chinese)
- [11] 赖 敏, 刘黎明. 生态退耕工程中的生态补偿问题及其补偿方法. 水土保持通报, 2006, 26(3): 63-66.
- Lai M, Liu L M. Discussion on ecological compensation and its methods for China's cropland conversion program. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(3): 63-66. (in Chinese)
- [12] 姜岳忠, 刘盛芳, 马履一, 马 玲, 姜承平. 毛白杨幼林间作效应研究. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 81-85.
- Jiang Y Z, Liu S F, Ma L Y, Ma L, Jiang C P. Effects of tree-crop intercropping on young plantations of *Populus tomentosa*. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(3): 81-85. (in Chinese)
- [13] 王 颖, 袁玉欣, 魏红侠, 冯长红. 杨粮间作系统小气候研究. 中国生态农业学报, 2001, 9(3): 40-42.
- Wang Y, Yuan Y X, Wei H X, Feng C H. A study on microclimate under poplar-crop intercropping systems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(3): 41-42. (in Chinese)
- [14] 袁玉欣, 贾渝彬, 邵吉祥, 魏红侠, 冯长红. 杨粮间作系统小气候水平分布的特征研究. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 21-23.
- Yuan Y X, Jia Y B, Shao J X, Wei H X, Feng C H. A study on distribution law of microclimate factors in poplar-crop intercropping system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(3): 21-23. (in Chinese)
- [15] Singh R P, Saharan N, Ong C K. Above and below ground interactions in alley-cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems*, 1989, 9: 259-274.
- [16] Lehmann J, Peter I, Steglich C, Gebauer G, Huwe B, Zech W. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management*, 1998, 111(2-3): 157-169.
- [17] 赵 举, 郑大玮, 潘志华, 程玉臣. 农牧交错带粮草带状间作防风蚀保土效应的研究. 华北农学报, 2005, 20(专辑): 5-9.
- Zhao J, Zheng D W, Pan Z H, Cheng Y C. Study on the technique of grass and crop strip intercropping for controlling wind erosion at ecotone in north area of Yinshan Mountain. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2005, 20(Suppl.): 5-9. (in Chinese)
- [18] 陈 智, 麻硕士, 范贵生, 赵永来. 麦薯带状间作农地土壤抗风蚀效应研究. 农业工程学报, 2007, 23(3): 51-54.
- Chen Z, Ma S S, Fan G S, Zhao Y L. Effect of wind erosion resistance of soil for wheat and potato strip intercropping farmland. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(3): 51-54. (in Chinese)
- [19] 韩友文. 饲料与饲养学. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- Han Y W. *Fodder and Feeding Science*. Beijing: China Agriculture Press, 1998. (in Chinese)
- [20] 杨 胜. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- Yang S. *Feedstuff Analysis and Identification and Determination of Feedstuff Quality*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. (in Chinese)
- [21] McIntyre B D, Riha S J, Ong C K. Competition for water in a hedge-intercrop system. *Field Crops Research*, 1997, 52: 151-160.
- [22] Smith D M, Jarvis P G. Physiological and environmental control of transpiration by trees in windbreaks. *Forest Ecology and Management*, 1998, 105(1-3): 159-173.
- [23] 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.
- 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. (in Chinese)
- [24] 骆世明. 农业生态学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 271-272.
- Luo S M. *Agroecology*. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 271-272. (in Chinese)
- [25] 胡立峰, 张立峰. 风蚀地区的保护性耕作探讨——以河北坝上地区为例. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 219-221, 224.
- Hu L F, Zhang L F. Conservation tillage in eroded areas——Case study on Bashang region in Hebei Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4): 219-221, 224. (in Chinese)
- [26] 周建忠, 路 明. 保护性耕作残茬覆盖防治农田土壤风蚀的试验研究. 吉林农业大学学报, 2004, 26(2): 170-173, 178.
- Zhou J Z, Lu M. Experimental study on preventing soil wind erosion by conservative crop stubble coverage. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2004, 26(2): 170-173, 178. (in Chinese)
- [27] 杨秀春, 徐 斌, 严 平, 刘连友, 色布力玛. 农牧交错带不同农田耕作模式土壤水分特征对比研究. 水土保持学报, 2005, 19(2): 125-129.
- Yang X C, Xu B, Yan P, Liu L Y, Sebu L M. Study on soil moisture of different tillage measures in agri-grazing ecotone. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 125-129. (in Chinese)
- [28] 何文清, 赵彩霞, 高旺盛, 陈源泉, 秦红灵, 樊秀荣. 不同土地利用方式下土壤风蚀主要影响因子研究——以内蒙古武川县为例. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2092-2096.
- He W Q, Zhao C X, Gao W S, Chen Y Q, Qin H L, Fan X R. Main affecting factors of soil wind erosion under different land use patterns — A case study in Wuchuan County, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2092-2096. (in Chinese)
- [29] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 杨世琦, 赵沛义. 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响. 生态学报, 2007,

- 27(9): 3778-3784.
- Qin H L, Gao W S, Ma Y C, Yang S Q, Zhao P Y. Effects of no-tillage on soil properties affecting wind erosion during fallow in ecotone of north China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3778-3784. (in Chinese)
- [30] 程 序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题. 资源科学, 1999, 21(5): 1-8.
- Cheng X. Frontier issue of modern ecology in the study of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Resources Science*, 1999, 21(5): 1-8. (in Chinese)
- [31] 程 序. 中国北方农牧交错带生态系统的独特性及其治理开发的生态学原则. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1503-1506.
- Cheng X. Unique ecosystem characters and ecological principles for development in the ecotones between agriculture and pasture in north China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1503-1506. (in Chinese)
- [32] 赵哈林, 周瑞莲, 张铜会, 赵学勇. 我国北方农牧交错带的草地植被类型、特征及其生态问题. 中国草地, 2003, 25(3): 1-8.
- Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, Zhao X Y. Range vegetation, and its characteristics, ecological problems in the northern agri-pastoral transition zone, China. *Grass of China*, 2003, 25(3): 1-8. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)

2009 年《中国农业科技导报》(征订启事)

《中国农业科技导报》是由科学技术部主管, 中国农村技术开发中心主办, 中国农业科学院生物技术研究所承办的全国性、综合性学术期刊。

本刊是中国科技核心期刊, 以发展现代农业为导向, 主要报道农业高科技领域的最新科研进展、创新成果、转化应用、农业产业化发展态势, 以及政策导向和项目指南(863 计划、支撑计划等)等信息, 是农业高新技术创新成果的重要宣传阵地。设置综述专论、研究论文、研究简报、前沿动态和信息交流等栏目。读者对象为国内外农业科研机构的研究和管理人员; 相关领域的各级管理部门的管理人员; 农业高技术企业的管理和研发人员; 相关专业的大专院校师生。

本刊于 1999 年 6 月创刊, 彩色封面, 大 16 开本, 双月刊, 逢双月中旬出版, 国内外公开发行。自 2009 年起将扩版至 144 页, 每册定价 22.00 元, 全年定价 132.00 元。可通过邮局或与编辑部联系订阅, 免费邮寄。国内统一刊号: CN11-3900/S; 国际统一刊号: ISSN 1008-0864。邮发代号: 82-245。

地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农业科学院生物技术研究所《中国农业科技导报》编辑部

邮编: 100081; 联系人: 蔡晶晶, 徐妙云, 孙丽萍

电话: 010-82106118; E-mail: nykjdb@163.com, nkdb@caas.net.cn; 网址: www.nkdb.net