

保护性耕作措施对红枣树光合特性及产量的影响

徐安阳¹, 张育丽¹, 段 维², 万素梅¹

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆康地种业科技股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要: 以 5 年生骏枣为试验材料, 研究不同保护性耕作措施对红枣树光合特性及产量的影响。结果表明: (1) 不同耕作处理叶绿素含量(SPAD 值)、净光合速率和蒸腾速率总体上均表现为翻耕 > 旋耕 > 免耕; 不同覆盖处理 SPAD 值、净光合速率和蒸腾速率均表现为秸秆覆盖 > 裸地 > 覆膜。(2) 红枣坐果期净光合速率的日变化大致呈双峰曲线, 各处理除免耕覆膜覆盖(NF)和旋耕秸秆覆盖(RS)外净光合速率总体上略高于对照免耕裸地(NB), 差异不显著; 而蒸腾速率则表现为先降低再升高最后降低, 其中翻耕秸秆覆盖(TS)高于对照(NB)3.63%, 达显著水平。(3) 不同保护性耕作措施除翻耕覆膜覆盖(TF)外均能提高红枣产量, 且效果明显, 最大值 TS 高于最小值 TF 73.96%, 且 TS 高于对照(NB)44.53%, 均表现出极显著差异。综合分析表明, TS 处理具有较高的 SPAD 值、净光合速率、蒸腾速率和产量, 是适宜该区枣园管理的耕作方式。

关键词: 红枣树; 保护性耕作; 光合特性; 产量

中图分类号: S665.1; S604+.7 文献标志码: A

Effects of conservation tillage methods on the photosynthetic characteristics and yield of jujube

XU An-yang¹, ZHANG Yu-li¹, DUAN Wei², WAN Su-mei¹

(1. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. Xinjiang Condy Agri-Genetics Co. Ltd., Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: To study the effects of different conservation tillage on the photosynthetic characteristics and yield of jujube, five years old Zizyphus jujube cv. Jun zao was selected as test materials. The results showed as the following: (1) On the whole, SPAD, net photosynthesis rate and transpiration rate of jujube increased in the order of plow tillage > rotary tillage > non-tillage, those of jujube straw mulching > non-mulching > film mulching. (2) Diurnal variations of photosynthesis rate in fruit setting stage of jujube roughly demonstrated double-apex curves. The net photosynthetic rate of all measures except for NF(no till + covering plastic film) and RS(rotary tillage + straw mulching) were generally slightly higher than the contrast(NB), but the difference was not significant. And the transpiration rate decreased firstly then increased but decreased finally, TS(ploughing + straw mulching) was significantly higher than control (NB) by 3.63%. (3) Conservation tillage measures except for TF(ploughing + covering plastic film) improved jujube production obviously. Comprehensive analysis showed that TS had higher SPAD, net photosynthetic rate, transpiration rate and yield, which can be used for jujube orchard management in the target area.

Keywords: jujube; conservation tillage; photosynthetic characteristics; yield

新疆南疆地区日照时间长,光照条件好,昼夜温差大,适宜棉花、林果生长。但干旱少雨,水资源缺乏,风多沙大,植被稀疏,水土流失比较严重,农业生态环境十分脆弱,限制了作物光合作用和经济产量的提高。保护性耕作是相对于传统翻耕的新型耕作技术,具有保持水土、减少风蚀、水蚀,缓解沙尘危害,培肥地力、改善土壤结构、防治农田扬尘、节本增效、促进农业可持续发展等诸多优点,能够最大限度地保护农林业水土资源,提高农林作物生产能力和水分利用效率等^[1-4]。因此,研究适宜该区枣园保护性耕作的田间管理措施具有重要意义。作物产量中,90%~95%的物质来自光合作用的产物^[1]且光

收稿日期: 2014-05-26
基金项目: 国家自然科学基金(31160268); 农一师科技局项目(2012YY02)
作者简介: 徐安阳(1989—),男,河南泌阳人,硕士研究生,研究方向为农业生态系统高效利用与环境调控。E-mail: xayang225@126.com。
通信作者: 万素梅(1968—),女,新疆人,教授,博士,研究方向为旱区农业资源管理及高效农作制度。E-mail: wansumei510@163.com。

合产物是果树产量形成的基础^[5]。植物的光合作用是物质积累的基础,也是碳循环和其他物质循环的重要环节,土壤水分、地温、大气 CO₂ 浓度、光照强度等因素都会显著影响光合作用^[6-7]。目前,针对保护性耕作措施的研究已经涉及作物光合特性、产量、水分利用效率、土壤理化性状、微生物群落^[8-13]等多个方面,但多集中在小麦、玉米、大豆等粮食作物,如保护性耕作技术能显著提高大豆叶片的净光合速率、产量^[1];耕作措施是影响冬小麦群体结构与产量构成的最重要因素^[3];保护性耕作最终提高作物的净光合速率和产量^[14]。而关于不同保护性耕作措施对红枣树光合生理特性和产量的研究却很少,为此本文研究南疆地区不同保护性耕作措施对红枣树的光合特性和产量的影响,为该区枣园保护性耕作措施制定田间管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区设在塔里木盆地南疆农一师十三团幸福农场,该区位于塔里木河上游南岸,塔克拉玛干沙漠西北边缘,总面积 275 km²。研究区光热资源丰富,

气候类型独特,为温带大陆性干旱气候。年降水量 40 ~ 70 mm,蒸发量 2 000 mm 以上,年平均气温 11.2℃,≥10℃的积温 4 040℃ ~ 4 300℃,无霜期 180 ~ 224 d,日照 2 556 ~ 2 991 h,年均总辐射 9 733 MJ·m⁻²。试验地土壤质地为沙壤土,0 ~ 40 cm 土壤容重平均为 1.39 g·cm³,0 ~ 100 cm 土壤含水量平均为 10.19%。

1.2 试验材料与试验设计

试验选择 5a 矮化密植的盛果期骏枣园(2007 年酸枣直播建园,2008 年嫁接骏枣)为研究对象,试验果园面积 4 hm²,园区枣树树势良好,果树生长健壮,南北走向,株行距配置为 1 m × 3 m。每小区面积为 6 m × 20 m = 120 m²,随机区组排列。2012 年 4 月 15 日进行试验前期处理,试验设置土壤耕作与覆盖措施两个因素,土壤耕作因素包括翻耕、旋耕和免耕,覆盖措施因素包括秸秆覆盖、覆膜、裸地,共 9 个处理组合(表 1),其中以免耕裸地(NB)为对照。土壤翻耕及旋耕分别用铧式犁和果园旋耕机进行作业,各覆盖位置均位于行间。试验地小区地势平坦,立地条件相同,土壤水分、肥力等条件相近,且具有相同的管理水平,试验区具有代表性。

表 1 试验耕作处理
Table 1 Description of different tillage treatments

处理 Treatments	方法 Methods
翻耕 + 秸秆覆盖 Ploughing + straw mulching(TS)	翻耕后覆盖秸秆 Covering straw after ploughing
翻耕 + 覆膜覆盖 Ploughing + covering plastic film(TF)	翻耕后树行间覆盖塑料地膜 Tree roots covering plastic film after ploughing
翻耕 + 裸地 Ploughing + bare(TB)	翻耕深度为 20 ~ 30 cm,不覆盖 Ploughing depth of 20 to 30 cm, not covered
旋耕 + 秸秆覆盖 Rotary tillage + straw mulching(RS)	旋耕后覆盖秸秆 Rotary tillage after covering straw
旋耕 + 覆膜覆盖 Rotary tillage + covering plastic film(RF)	旋耕后树行间覆盖塑料地膜 Rotary tillage tree roots after covering plastic film
旋耕 + 裸地 Rotary tillage + bare(RB)	旋耕深度为 10 ~ 20 cm,不覆盖 Rotary tillage depth of 10 to 20 cm, not covered
免耕 + 秸秆覆盖 No-till + straw mulching(NS)	不耕作,直接覆盖秸秆 No tillage, covering straw directly
免耕 + 覆膜覆盖 No-till + covering plastic film(NF)	不耕作,树行间覆盖白色塑料地膜 No tillage, tree roots covering plastic film
免耕 + 裸地 No-till + bare(NB)	不进行任何处理 Don't make any processing

1.3 测定项目与方法

叶绿素含量测定:用日本产 SPAD - 502 叶绿素仪测定,以 SPAD 值表示叶绿素含量。红枣坐果期在各试验小区随机选取 3 株枣树的上部、中部、下部各 3 片枣叶进行田间测定,取平均值。

光合测定:采用美国 LI - COR 公司生产的 LI - 6400 便携式光合系统分析仪,于 2012 年 6—9 月选择无风晴天进行测定,测定时间统一在 8:00—20:00,每隔 2 h 测定 1 次。每小区随机选取 3 株长势良好的代表性枣树植株,在树冠中部选取 3 片叶片,重复 3 次,取 9 次平均值。分别测定其净光合速

率(P_n)、蒸腾速率(Tr)等指标。

产量测定:10 月果实成熟期进行测产,每处理随机选择 10 株枣树,测其单株生理期落果重、单株采摘前落果重、单株树上总果重。单株总重 = 单株采摘前落果重 + 单株树上总果重,平均折算成 667 m² 产量;落果率 = 单株生理期落果重/(单株生理期落果重 + 单株采摘前落果重 + 单株树上总果重)。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 进行统计处理,SAS8.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同保护性耕作措施对红枣树叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是绿色植物进行光合作用所必需的色素分子,叶绿素含量的高低在一定程度上反应植物的光合作用能力^[15]。由图 1 可以看出,不同耕作处理 SPAD 值总体上表现为翻耕 > 旋耕 > 免耕;不同覆盖处理 SPAD 值表现为秸秆覆盖 > 裸地 > 覆膜。不同处理间 TS > RS > NS > TB > RB > TF > NB > RF > NF。TS 除了与 RS 差异显著外均与其他处理表现出极显著差异。TS 分别较 RS、NS、TB、RB、TF、NB、RF、NF 高出 2.08%、3.29%、3.55%、5.41%、6.03%、9.07%、9.48%、12.27%。TS 处理红枣树叶片 SPAD 值较大,说明秸秆分解后增加了土壤有机碳,土壤的耕作次数的减少,可以有效保存土壤水分,从而在红枣树生长过程中有利于叶绿素的积累。

2.2 不同保护性耕作措施对红枣树不同生育期光合特性的影响

2.2.1 对红枣树不同生育期净光合速率(P_n)的影响 从图 2 可以看出,随着红枣树的生长发育,叶片的展开,其净光合速率逐渐增加,成熟期达到最

高。随着果实的成熟,其光合能力也达到最强。不同生育期过程中,不同耕作处理净光合速率总体上表现为翻耕 > 旋耕 > 免耕;不同覆盖处理净光合速率表现为秸秆覆盖 > 裸地 > 覆膜。但各处理间有差异,表现为 TS > RB > TB > RF > NS > TF > NB > NF > RS。其 TS 高于最低值 RS 9.52%,差异极显著;TS 高于对照(NB)7.26%,差异显著。这可能是翻耕秸秆覆盖措施能够保持水力,使水分不易散失,在一定程度上增强了光合作用。不同生育期过程中,红枣树净光合速率除 NF、RS 外均不同程度地高于对照(NB)条件下的红枣树净光合速率。

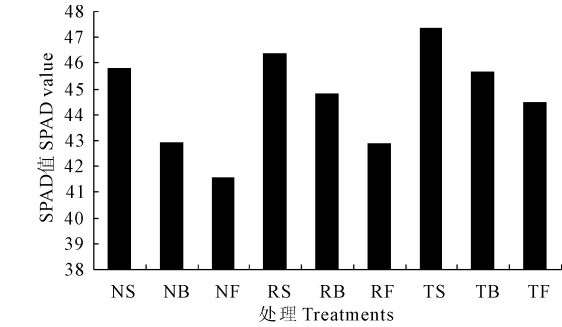


图 1 保护性耕作对红枣树叶片叶绿素含量的影响
Fig.1 Effects of conservation tillage on chlorophyll content of jujube leaf

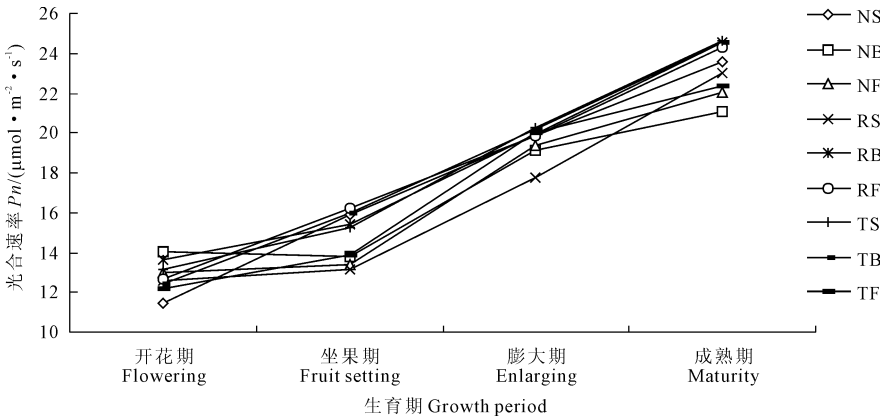


图 2 保护性耕作对红枣树不同生育期净光合速率的影响
Fig.2 Effects of conservation tillage on photosynthetic rate of jujube at different stages

2.2.2 对红枣树不同生育期蒸腾速率(T_r)的影响 从图 3 可以看出,从花期到成熟期蒸腾速率先增长后逐渐下降,坐果期的蒸腾速率达到峰值。不同生育期过程中,保护性耕作条件下 TS 蒸腾速率总体高于其他措施。不同耕作处理蒸腾速率总体上也表现为翻耕 > 旋耕 > 免耕;不同覆盖处理光合速率秸秆覆盖 > 裸地 > 覆膜。但各处理间有差异,表现为 TS > RB > RF > TB > NS > RS > TF > NF > NB。最大值 TS 高于最小值对照(NB)22.93%,差异显著,且最大值 TS 显著高于其他处理。

2.3 不同保护性耕作措施对红枣树坐果期光合特性日变化的影响

2.3.1 坐果期净光合速率(P_n)的日变化 坐果期是红枣树生殖生长的重要时期,这时光合产物的合理运转和分配对红枣产量的高低至关重要,只有保障“源”充足的情况下,才能保障光合有效产物更多地运到器官“库”中^[1]。从图 4 中可以看出,红枣坐果期净光合速率的日变化大致呈双峰曲线,说明各处理存在光合午休现象。早晨由于光照比较弱,气温低,植物叶片没有完全活化,气孔开放程度不够,

所以净光合速率很低,从 8:00—10:00 气孔开放,温度快速上升,随着气温和光照强度的上升,净光合速率增高,在 10:00—12:00 左右升至最高,达到第一个峰值,也是全天的最高峰,第二次峰则规律不明

显。从不同保护性耕作措施日变化来看,净光合速率与不同生育期红枣净光合速率表现一致,除 NF,RS 外净光合速率总体上均高于对照(NB),但差异不显著。

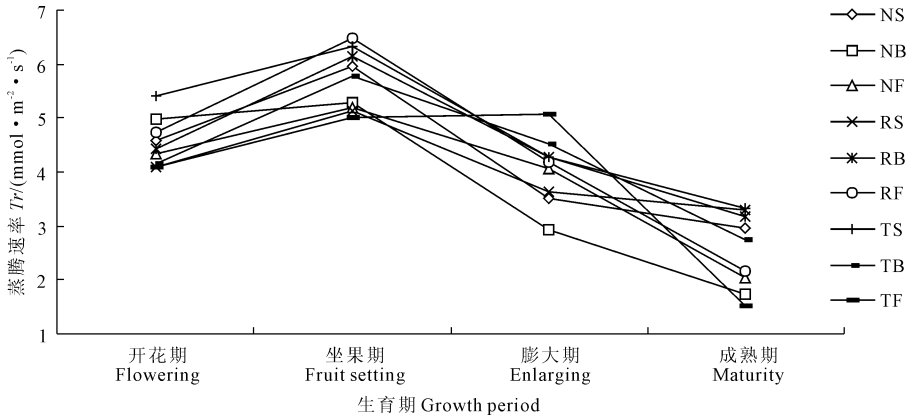


图 3 保护性耕作对红枣树不同生育期蒸腾速率的影响

Fig.3 Effects of conservation tillage on transpiration rate of jujube at different stages

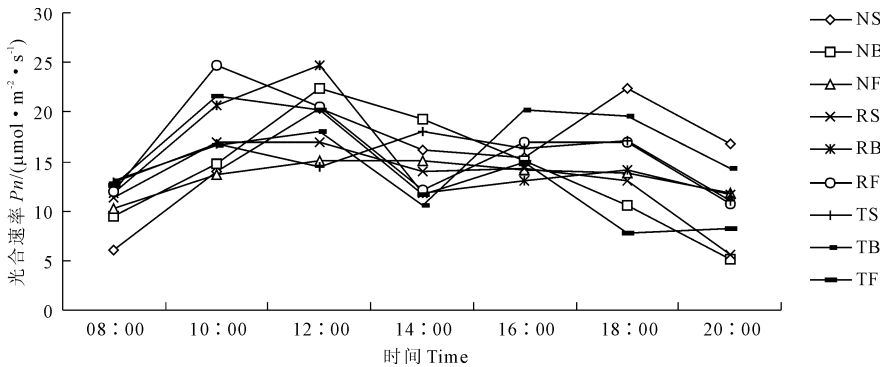


图 4 红枣坐果期净光合速率的日变化

Fig.4 Diurnal variations of Pn in fruit setting stage of jujube

2.3.2 红枣坐果期蒸腾速率(Tr)的日变化 从图 5 中可以看出,红枣树蒸腾速率在不同保护性耕作措施处理条件下是先降低后升高再降低。这与许多研究表现不同,可能是该区昼夜温差大,独特的气候类型所致。蒸腾速率的日变化和净光合速率的日变

化有所不同。8:00—10:00 蒸腾速率呈下降趋势,这可能是黎明红枣树叶片温度较低而气孔关闭的原因,这时光合作用相对较强。从早上 10:00—14:00 开始,随着气温和光照的加强,蒸腾速率呈直线上升趋势,而净光合速率下降,气孔慢慢变小,至 14:00

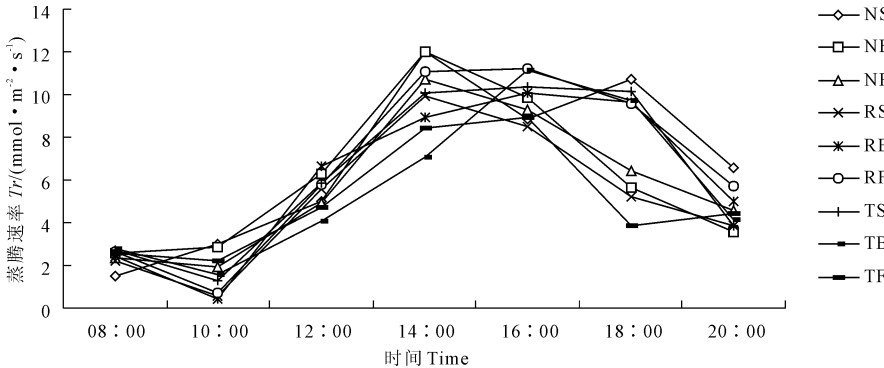


图 5 红枣坐果期蒸腾速率的日变化

Fig.5 Diurnal variations of Tr in fruit setting stage of jujube

—16:00 前后达到最高值,随后蒸腾速率逐渐下降。18:00 秸秆覆盖措施蒸腾速率高于覆膜措施,表现出极显著差异。在各处理中,NS 极显著高于其他处理,高于最小值 TF 26.43%,高于对照(NB)10.43%。TS 高于对照(NB)3.63%,达显著水平。

2.4 不同保护性耕作措施对红枣产量的影响

分析表明,保护性耕作处理中,红枣产量 TS 与 RB 差异不明显,而显著高于其他处理;与 TF、NB 相比,最大值 TS 高于最小值 TF 73.96%,且 TS 高于对照(NB)44.53%,均表现出极显著差异。不同耕作处理红枣落果率表现为旋耕 > 翻耕 > 免耕;不同覆盖表现为覆膜 > 裸地 > 秸秆覆盖。从表 2 可以看出红枣落果率是影响产量的主要因素。从整个保护性措施中可以看出,各处理产量除 TF 外均高于对照,其中 TS 处理最优,落果率最低、产量最高。

表 2 保护性耕作措施对红枣产量的影响
Table 2 Effects of conservation tillage on jujube yield

处理 Treatments	单株生理落果重 Physiological fruit drop weight per plant /kg	单株总重 Yield per plant /kg	落果率 Fruit abscission rate/%	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
NS	0.88abc	1.46b	37.61	4869.10b
NB(CK)	0.50c	1.47b	25.38	4902.45b
NF	1.05a	1.57b	40.08	5235.95b
RS	0.53bc	2.10ab	20.23	7003.50ab
RB	0.83abc	2.52a	24.78	8404.20a
RF	1.00ab	1.75b	36.36	5836.25b
TS	0.61abc	2.65a	18.71	8837.75a
TB	1.07a	2.11ab	33.65	7036.85ab
TF	0.60abc	0.69c	46.51	2301.15c

注:同一列中不同字母表示 5% 水平差异显著。
Note.: Values followed by different letters in the same column mean significant difference at 5% level.

3 讨 论

目前,保护性耕作技术已成为保护环境、减少水土流失、改善土壤结构、提高土壤肥力、节约成本和增加作物产量的一项先进旱地农业生产技术^[16]。新疆南疆地区地处沙漠边缘,植被稀疏,地表裸露,每年开春 4 月都会遭到沙尘暴的侵袭,保护性耕作技术因其实行免耕、少耕,并以作物秸秆覆盖地表,可以缓解干旱,减轻水蚀、风蚀,因此可以有效地减轻沙尘暴的危害,改善该区的生态环境,实现可持续发展。所以在南疆地区实施保护性耕作具有重大的现实意义。

在诸生态因素中,光合特性是限制林果产量的因素之一,因而如何提高光合特性等是解决林果增

产的关键。光合作用是植物最重要的生理过程,植物源叶净光合速率(P_n)是光合作用中最主要的生理参数,反应了光合作用的强弱,影响着作物的生物产量和经济产量^[17]。本研究结果表明,保护性耕作明显增加了坐果期的叶绿素含量,其中 TS 处理效果最好;不同生育期过程中,红枣净光合速率从花期到成熟期总体呈逐渐上升规律;不同耕作处理光合速率总体上表现为翻耕 > 旋耕 > 免耕;不同覆盖处理光合速率表现为秸秆覆盖 > 裸地 > 覆膜。而红枣坐果期净光合速率的日变化大致呈双峰曲线,说明各处理存在光合午休现象。这与房清龙等^[15]的研究基本一致,其发现秸秆还田处理减缓了光合午休现象,使小麦维持较高的光合速率,增加干物质积累,提高了产量。各处理除 NF,RS 外净光合速率总体上略高于对照(NB),差异不显著。

保护性耕作可以不同程度地改善和提高作物、林果的产量。由表 2 可以看出,不同保护性耕作措施除 TF 外均能提高红枣产量,且效果明显。最大值 TS 高于最小值 TF 73.96%,表现出极显著差异,说明秸秆覆盖下的产量优于覆膜下的产量,吴婕等^[18]研究发现秸秆覆盖后,可以促进作物产量的提高,而张冬梅等^[19]研究表明地膜覆盖导致旱地玉米连续两年减产率分别达到 73.6% 和 12.9%。从表中还可发现影响红枣产量的主要因素为单株生理落果重。因此应该加强果树生理期的管理,减少生理期落果。

综上所述,本研究得出不同保护性耕作措施中 TS(翻耕秸秆覆盖)处理具有较高的 SPAD 值、净光合速率、蒸腾速率和产量,是适宜该区枣园管理的耕作方式。但本研究只针对不同保护性耕作措施对光合特性和产量的影响,而影响产量的因素较多,各种因素应综合考虑,故有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 魏永霞,张文娥,严昌荣.保护性耕作技术对大豆光合特性、产量及水分利用效率的影响[J].中国农村水利水电,2009,(2): 66-69.
[2] 张海林,高旺盛,陈 阜,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16-20.
[3] 韩 宾,李增嘉,王 芸,等.土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J].农业工程学报,2007,23(2):48-53.
[4] 王 靖,林 琪,倪永君,等.旱地保护性耕作对冬小麦光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2009,29(3):480-483.
[5] 温商霖,刘英军.葡萄田间光合作用的研究[J].园艺学报,1989,16(8):168-172.

~ 100.0%。在施用有机肥的处理中,其土壤氮挥发化肥贡献率随化学氮肥用量的增加而增加,可见合理地控制化肥氮用量是降低土壤氮挥发损失的重要措施。土壤氮挥发损失受到多种因素影响,施氮量只是其中一个重要因素,而在宁夏引黄灌区露地菜田土壤条件(pH 值、有机质、铵态氮含量等)、气温、土温、灌水等其它因素对氮挥发速率、氮挥发损失通量及损失率的影响研究依然需要深入探讨。

参 考 文 献:

[1] Chen Qing, Zhang Xiao-sheng, Zhang Hong-yan, et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. Nutrient Cycling in Agroecosyst, 2004,69:51-58.

[2] Thompson R B, Martinez-Gaitan C, Gallardo M, et al. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey[J]. Agricultural Water Management, 2007,89: 261-274.

[3] Harrison R, Webb J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions[J]. Advances in Agronomy, 2001,73:65-108.

[4] Zhang Y, Dore A J, Ma L, et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2010,158(2):490-501.

[5] Klimont Z. Current and Future Emissions of Ammonia in China[C]// The 4th Workshop on the Transport of Air Pollutants in Asia. Luxembourg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 2001.

[6] 朱兆良,文启孝.中国土壤氮素[M].南京:江苏科技出版社,1992:171-194.

[7] Davidson E. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860[J]. Nature Geoscience, 2009,2:659-662.

[8] 葛顺峰,姜远茂,彭福田,等.春季有机肥和化肥配施对苹果园土壤氮挥发的影响[J].水土保持学报,2010,24(5):199-203.

[9] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对日光温室土壤氮挥发的影响[J].中国农业科学,2012,45(21):4403-4414.

[10] 贺发云,尹斌,金雪霞,等.南京两种菜地土壤氮挥发的研究[J].土壤学报,2005,42(2):253-259.

[11] Tian Guangming, Gao Jinliu, Cai Zucong, et al. Ammonia volatilization from winter wheat field topdressed with urea[J]. Pedosphere, 1998,8(4):331-3361.

[12] 龚巍巍,张宜升,何凌燕,等.菜地氮挥发损失及影响因素原位研究[J].环境科学,2011,32(2):345-350.

[13] 宁夏统计局.宁夏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2010.

[14] 张学军,陈晓群,王黎民,等.宁夏大棚蔬菜生产现状及施肥中存在的问题和对策[J].宁夏农林科技,2004,2:44-47.

[15] 张宏彦,陈清,李晓林,等.控制淋洗条件下土壤-花椰菜体系无机氮动态及平衡[J].土壤通报,2004,35(2):130-135.

[16] 张学军,陈晓群,罗健航,等.不同水氮措施对芹菜-白菜轮作体系中氮素利用与土壤 NO₃⁻-N 残留的影响[J].土壤通报,2007,38(5):906-910.

[17] 李银坤,梅旭荣,武雪萍,等.不同水氮条件对日光温室冬春茬黄瓜栽培氮挥发的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1413-1419.

[18] 田光明,蔡祖聪,曹金留,等.镇江丘陵区稻田化肥氮的氮挥发及其影响因素[J].土壤学报,2001,38(3):324-332.

[19] 纪锐琳,朱义年,佟小微,等.竹炭包膜尿素在土壤中的氮挥发损失及其影响因素[J].桂林工学院学报,2008,28(1):113-118.

[20] Ma B L, Wu T Y, Tremblay N, et al. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization[J]. Agronomy Journal, 2010,102:134-144.

[21] 李宗新,王庆成,刘开昌,等.不同施肥模式下夏玉米田间土壤氮挥发规律[J].生态学报,2009,29(1):307-314.

[22] 董文旭,吴电明,胡春胜,等.华北山前平原农田氮挥发速率与调控研究[J].中国生态农业学报,2011,19(5):1115-1121.

(上接第 68 页)

[6] 王建林.燕麦叶片光合速率、气孔导度对光强和 CO₂ 的响应与模拟[J].华北农学报,2009,24(3):134-137.

[7] 陈雄,吴冬秀,王根轩,等.CO₂ 浓度升高对干旱胁迫下小麦光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].应用生态学报,2000,11(6):81-84.

[8] 练宏斌,黄高宝,谢军红,等.不同耕作措施对旱地春小麦旗叶光合特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2009,44(1):64-68.

[9] 张凤云,张恩和.保护性耕作对黑河流域农田土壤水分利用的影响[J].自然资源学报,2013,28(2):234-243.

[10] 雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-44.

[11] 陈蓓,张仁陟.免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J].甘肃农业大学学报,2004,39(6):634-638.

[12] Claudia P J, Sisti Rainoldo Kohhann, Bruno J R. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil[J]. Soil & Tillage Research, 2004,76:39-

58.

[13] Shipitalo M J, Dick W A, Edwards W M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals[J]. Soil & Tillage Research, 2000,53:167-183.

[14] 杨江山,张恩和,黄高宝,等.保护性耕作对苜蓿蓝光合特性和保护酶活性的影响[J].草业学报,2010,19(1):113-120.

[15] 房清龙,林琪,刘义国,等.保护性耕作方式对冬小麦灌浆期光合日变化及产量的影响[J].农学报,2012,2(12):6-11.

[16] 陈宝峰,许继光,韩战省.山西省保护性耕作技术推广模式研究[M].北京:中国农业出版社,2010:1-28.

[17] 王晶晶,李铭,高疆生,等.不同栽植模式对骏枣叶片光合特征的季节性影响[J].塔里木大学学报,2012,24(3):31-35.

[18] 吴婕,朱钟麟,郑家国,等.秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J].西南农业学报,2006,19(2):192-195.

[19] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2012,24(4):99-102.