

和田枣树/小麦系统氮素吸收利用差异研究

张 伟,段志平,郝向东,林海荣,王宝驹,甘雅文,李鲁华

(石河子大学农学院农学系耕作教研室,新疆 石河子 832003)

摘 要:通过田间试验,研究和田地区枣树/小麦系统对氮素的吸收利用以及复合群体对不同土壤深度土壤矿物质氮素吸收的差异,阐明复合系统对氮素高效利用的空间生态位补偿机制。以骏枣和秋冬 20 号为实验材料,利用¹⁵N同位素标记法研究复合系统氮素的吸收利用。间作体系的 N 吸收量、NDFE、氮素利用效率较单作加权平均值高;枣树的氮素利用率低于小麦;各系统的氮素利用率最低值均出现在¹⁵N 施入的 120、200 cm 处理;针对枣树/小麦复合系统内的氮素种间竞争,建议在田间管理中增施一定肥料以助于缓解这种氮素竞争。

关键词:枣树;小麦;氮素;吸收利用差异

中图分类号:S344.2 **文献标志码:**A

Differences of absorption and utilization for nitrogen in jujube tree/wheat agroforestry system in Hetian

ZHANG Wei, DUAN zhi-ping, HAO Xiang-dong, LIN Hai-rong, WANG Bao-ju, Gan Ya-wen, LI Lu-hua
(Farming Staff Room, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: Field experiments were conducted to investigate differences of nitrogen acquisition, and utilization in soil depths, and clarify the compensatory mechanism of space niche for efficiently utilizing nitrogen in jujube tree/wheat intercropping system. Junzao-winter wheat No.20 intercropping system was tested and its nitrogen acquisition and utilization were determined by ¹⁵N stable isotope labeling. The results showed intercropping system with higher nitrogen acquisition, NDFE and nitrogen use efficiency than which weighted average of mono cropping system. Nitrogen use efficiency of jujube tree was lower than which of wheat. The lowest value of UFN in all treatments were observed at the imbedding depths of 120 and 200 cm of ¹⁵N. The findings suggest fertilizing in the system to mitigate nitrogen competition between jujube tree and wheat.

Keywords: jujube tree; wheat; nitrogen; the differences of absorption and utilization

枣树/小麦农林复合系统是中国西北新疆维吾尔自治区南部重要的果粮间作模式,该系统不仅满足了当地农民粮食自给的需求,还能够通过销售大枣获得丰厚的经济效益^[1]。新疆南部环塔克拉玛干沙漠周边绿洲的沙质土壤养分特别是氮素缺乏,保水保肥能力也较差^[2-3]。因此,提高枣树/小麦农林复合系统的土壤氮素利用率有助于提高土地利用率和土地产出。两种作物根系竞争的程度主要取决于根系形态和扎根深度等因素^[4]。林木的根系通常可以利用深层土壤的氮素,并能吸收到超出

农作物根系范围的养分,这就使得林木在种间养分利用方面处于竞争优势地位^[5]。然而,也有研究人员得到与上述结论不同的结果,Nissen 等^[6]在幼龄桉树(*Eucalyptus torrelliana* F. V. Mueller)/卷心菜(*Brassica oleracea* L. Capitata Group)复合系统中发现幼龄桉树根系的氮素竞争能力要低于卷心菜根系。此外,林木和农作物对土壤氮素吸收利用开始的时间可能有所不同,类似于冬小麦这类农作物通常在早春就开始萌动并吸收和利用土壤养分,而大多数林木要较之晚 20~30 d 左右。尽管农林复合

收稿日期:2017-04-25

修回日期:2017-11-17

基金项目:国家自然科学基金(31460335);国家自然科学基金(31560376);中国博士后科学基金资助项目(2015M582737);石河子大学高层次人才科研启动资金(RCZX201422)

作者简介:张伟(1979-),男,博士,副教授,研究方向为农田生态与生物多样性。E-mail:bluesky2002040@163.com

通信作者:李鲁华(1967-),女,教授,硕士生导师,研究方向为农田生态与生物多样性。E-mail:liluhuashiz@163.com

系统的优点已经被广泛接受和认可^[7],然而新疆和田古绿洲上处于优势地位的枣树/小麦果粮间作模式却较少受到关注。枣树/小麦农林复合系统对养分利用率方面的报道还很少,尤其是干旱区农业发展中农林复合系统对土壤氮素利用和竞争方面的资料更少^[8]。基于上述原因,我们利用¹⁵N 同位素标记的方法,通过田间试验研究单、间作体系内间作和单作加权平均值对氮素吸收利用的差异以及复合群体中对不同土壤深度土壤矿质氮素吸收利用的差异,探明枣麦间作系统内的养分累积特点,进一步阐明枣树和小麦复合体系对氮素高效利用的空间生态位补偿机制。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用品种均为当地主栽品种:冬小麦为新冬 20 号(Xindong 20),播种日期为 2014 年 10 月 25 日,收获日期为 2015 年 6 月 25 日;枣树均为骏枣(Junzao),收获日期为 2015 年 10 月 5 日。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验为单因素设计,按¹⁵N 施入五个土壤深度位点分为五个水平:分别是 20, 40, 80, 120 和 200 cm。试验共 6 个小区,田间随机排列,枣树选择了 4 年生树龄(2011 年移植)。

其中枣树/小麦间作小区面积:15 m×2 m=30 m²,3 次重复,单作枣树和单作小麦的小区面积 15 m×2 m=30 m²,3 次重复,枣树行距为 6 m,株距 1 m;小麦行距 15 cm,小麦占地 78.5%,枣树占地 21.5%,计 6 个小区。

所有试验地施基肥为:农家肥 30 000 kg·hm⁻²,氮肥(N)为 60 kg·hm⁻²;所有枣树的追肥时期为冬小麦的拔节期和孕穗期,每个时期追肥量为(N)207 kg·hm⁻²,灌溉方式为漫灌,灌溉量遵循当地农业生产部门建议:每年灌水六次,每次灌量 900 m³。2015 年灌水时间分别是 3 月 25 日,4 月 14 日,5 月 2 日,5 月 23 日,7 月 25 日和 9 月 5 日。

1.2.2 ¹⁵N 施入方法和小区管理 利用¹⁵N 土壤注射法在不同土层中施入¹⁵N 来评价间作复合群体中枣树和小麦对氮素的竞争利用。该方法基于这样一个假设:当土壤水分不是限制因素时,地上部植物组织中所回收到的¹⁵N 能够反映植物根系对¹⁵N 施入位点氮素的吸收能力^[9]。

间作复合群体中,施入¹⁵N 的枣树之间最小距离为 800 cm,这样可以避免¹⁵N 的交叉影响。以枣树树干为圆心,在半径为 50 cm 的圆周上选择均匀

的 8 个点,用直径 5.5 cm 的土钻向下打孔,每棵树下的 8 个点深度相同。选择五个土壤深度为五个处理,深度分别为 20, 40, 80, 120 cm 和 200 cm。每棵树对应一个深度,三次重复。注射¹⁵N 溶液时,将不同长度的 PVC 管插入打好的洞孔中,于 2015 年 4 月 17 日将丰度为 5.22 %的¹⁵N 溶液分别通过 PVC 管注射入洞孔中^[10]。每个洞孔内注射¹⁵N 溶液的含量为 1 g。¹⁵N 溶液通过注射流入洞孔底部后,立即用 20 ml 的蒸馏水冲洗 PVC 管以保证管壁上残留的¹⁵N 溶液也全部到达洞孔底部的施入点位。作物全生育期内均进行人工除草。

播前按区组采混合土样分析有机质、全氮、全磷、速效磷、有机磷、速效钾等。

1.2.3 取样方法与分析 小麦植株取样在 2015 年 6 月 12 日进行。小麦植株样品分为叶片、籽粒和茎秆三部分并分别进行样品分析和计算。小麦成熟收获时按行测定生物学产量和籽粒产量,并分析植株及麦穗中¹⁵N 的含量。取¹⁵N 植株样范围:以树为中心,沿着树划圆圈取小麦样,每 20 cm 取一圈,取到距离树 1 m 为止。2015 年 10 月 5 日对枣树分别进行取样。取施入¹⁵N 的枣树 30 棵(分为单作枣树 15 棵,间作枣树 15 棵)。将枣树样品分为主干、枝条、叶片和果实四部分并分别进行样品分析和计算。

所有植株样品均使用中国农业大学资环学院的稳定性同位素质谱仪进行分析。植株样品称重前均在 80℃的条件下烘干 72 小时,然后用粉碎机进行粗粉(粉碎后样品直径<1 mm),再用球磨仪进行精细粉碎。同位素质谱仪型号为 MAT-251 (Finnigan, 德国)。样品分析结果用于分析作物吸收氮素来自肥料的比例(%NDF)和作物的氮肥利用率(%UFN)。

2 数据处理

2.1 数据计算

2.1.1 作物吸收氮素来自肥料的比例(%NDF) 作物吸收氮素来自肥料的比例(%NDF)通过下列公式计算^[11-13]:

$$\%NDF = 100 \times (a - b) / (c - d)$$

式中, a 为施肥处理植株样品的¹⁵N 丰度(%); b 为不施肥处理植株样品的¹⁵N 丰度(% ,对照值); c 为同位素标记肥料中的¹⁵N 丰度(本研究中为 5.22%); d 为¹⁵N 的自然丰度(0.366%)。

单作小麦%NDF = 单作 A×叶片%NDF + 单作 B×茎秆%NDF + 单作 C×籽粒%NDF

单作枣树%NDF = 单作 D×叶片%NDF + 单作

$E \times$ 果实%NDFF+单作 $F \times$ 枝条%NDFF+单作 $G \times$ 主干%NDFF

间作小麦%NDFF = 间作 $A \times$ 叶片%NDFF+间作 $B \times$ 茎秆%NDFF+间作 $C \times$ 籽粒%NDFF

间作枣树%NDFF = 间作 $D \times$ 叶片%NDFF+间作 $E \times$ 果实%NDFF+间作 $F \times$ 枝条%NDFF+间作 $G \times$ 主干%NDFF

单作加权平均值%NDFF = 单作小麦%NDFF \times 78.5% + 单作枣树%NDFF \times 21.5%

间作体系%NDFF = 间作小麦%NDFF+间作枣树%NDFF

式中, A 为小麦叶片总干重比例(%); B 为小麦茎秆总干重比例(%); C 为小麦籽粒总干重比例(%); D 为枣树叶片总干重比例(%); E 为枣树果实总干重比例(%); F 为枣树枝条总干重比例(%); G 为枣树主干总干重比例(%)。

2.1.2 作物的氮肥利用率(%UFN) 作物的氮肥利用率(Percentage utilization of fertilizer, %UFN) 通过下列公式计算^[11-13]:

$$\%UFN = (\%NDFF \times S) / R$$

式中, S 是指植株氮素的吸收总量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); S 为 N 吸收量 \times 干物质重量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), N 吸收量用凯氏定氮法测定; R 为氮肥施用总量($\text{kg} \text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

单作小麦%UFN = 单作 $A \times$ 叶片%UFN + 单作 $B \times$ 茎秆%UFN+单作 $C \times$ 籽粒%UFN

单作枣树%UFN = 单作 $D \times$ 叶片%UFN + 单作 $E \times$ 果实%UFN+单作 $F \times$ 枝条%UFN+单作 $G \times$ 主干%UFN

间作小麦%UFN = 间作 $A \times$ 叶片%UFN + 间作 $B \times$ 茎秆%UFN+间作 $C \times$ 籽粒%UFN

间作枣树%UFN = 间作 $D \times$ 叶片%UFN + 间作 $E \times$ 果实%UFN+间作 $F \times$ 枝条%UFN+间作 $G \times$ 主干%UFN

单作加权平均值UFN = 单作小麦%UFN \times 78.5%+单作枣树%UFN \times 21.5%

间作体系%UFN = 间作小麦%UFN + 间作枣树%UFN

此处 A, B, C, D, E, F, G 意义与 2.1.1 公式相同。

2.2 统计分析

数据用 Microsoft Excel 2003 整理后,用 SPSS (19.0) 程序在 0.05 水平进行方差分析,并用最小显著性差异法(LSD)进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 N 吸收量

间作体系的 N 吸收量在 ^{15}N 施入的五个深度均

显著高于单作加权平均的 N 吸收量,间作体系的 N 吸收量分别比单作加权平均值高出 83.5% ($P < 0.001$)、76.1% ($P < 0.001$)、91.7% ($P < 0.001$)、98.0% ($P < 0.001$) 和 97.4% ($P < 0.001$)。单作小麦和间作小麦的 N 吸收量在 ^{15}N 施入的 20、40、80 cm 三个深度处理间差异显著,单作小麦的 N 吸收量分别比间作小麦高出 16.3% ($P = 0.037$)、14.2% ($P = 0.039$) 和 9.7% ($P = 0.045$)。但是间作枣树与单作枣树之间差异不显著。单作小麦在 ^{15}N 施入的不同深度处理间存在显著差异(表 1)。

表 1 枣树/小麦系统 N 吸收量/($\text{kg} \text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 1 Nitrogen acquisition of jujube tree alley cropping systems

处理 Treatment	^{15}N 施入深度/cm Imbedding depths of ^{15}N - enriched $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$				
	20	40	80	120	200
间作体系 Intercropping	266.3a ¹⁾ A ²⁾	252.9aA	252.6aA	261.5aA	254.0aA
单作加权平均值 3) Expected	145.6bA	143.6bA	131.7bA	132.0bA	128.6bA
间作枣树 Intercropped jujube tree	163.5aA	173.2aA	171.5aA	168.0aA	170.5aA
单作枣树 Monocropped jujube tree	172.6aA	168.9aA	171.7aA	175.1aA	175.5aA
间作小麦 Intercropped wheat	102.8bA	99.7bA	101.1bA	103.5aA	101.4aA
单作小麦 Monocropped wheat	138.2aA	136.7aA	120.8aAB	120.2aAB	115.8aB

注:表中所有数据均为观测值的平均值。¹⁾相同小写字母表示同年内,单、间作(系统)之间在 LSD $P < 0.05$ 水平差异不显著(垂直方向比较);²⁾相同大写字母表示同年内同一个系统内不同 ^{15}N 施入深度之间在 LSD $P < 0.05$ 水平差异不显著(水平方向比较);³⁾表示单作果树与单作小麦的加权平均值。

Note: Values are weighted mean of observations; ¹⁾ Treatment comparison between monocropped and intercropping system is followed by lower case letters. Treatment values followed by the same lower case letter (within column) are not significantly different at the 0.05 level of probability; ²⁾ Within-treatment comparison among five imbedding depths followed by the same capital letters within the row are not significantly different at the 0.05 level of probability; ³⁾ The weighted means of corresponding monocropped crops.

3.2 作物吸收氮素来自肥料的比例(%NDFF)

间作体系与单作加权平均值的%NDFF 在 ^{15}N 施入的各深度处理间差异均显著,间作体系的%NDFF 分别比单作加权平均值高出 13.18 ($P < 0.001$)、12.33 ($P < 0.001$)、13.16 ($P < 0.001$)、11.76 ($P = 0.003$) 和 6.6 ($P = 0.017$) 个百分点;单作枣树与间作枣树的%NDFF 在 ^{15}N 施入的 20、40、80 cm 深度处理间差异显著,间作枣树的%NDFF 比单作枣树高出 2.01 ($P = 0.026$)、1.38 ($P = 0.038$) 和 2.59 ($P < 0.001$) 个百分点,间作小麦与单作小麦的%NDFF 在 ^{15}N 施入的 20、40、80、120 cm 深度处理间差异显

著,间作小麦的%NDFFF比单作小麦高出4.16($P=0.022$),3.7($P=0.040$),3.4($P=0.034$)和4.59($P<0.001$)个百分点(表2)。

表2 枣树/小麦系统 NDFFF/%

Table 2 Percentang of plant N derived from fertilizer (%NDFFF) of jujube tree alley cropping systems

处理 Treatment	¹⁵ N 施入深度/cm				
	Imbedding depths of ¹⁵ N - enriched CO(NH ₂) ₂				
	20	40	80	120	200
间作体系 Intercropping	24.95a ¹⁾ A ²⁾	24.61aA	25.62aA	19.19aB	13.89aC
单作加权平均值 ³⁾ Expected	11.77bA	12.28bA	12.46bA	7.43bB	7.29bB
间作枣树 Intercropped jujube tree	7.68aA	7.24aA	8.74aA	7.07aAB	6.08aB
单作枣树 Monocropped jujube tree	5.67bB	5.86bAB	6.15bA	7.14aA	6.87aA
间作小麦 Intercropped wheat	17.27aA	17.37aA	16.88aA	12.12aB	7.81aC
单作小麦 Monocropped wheat	12.89bA	13.67bA	13.48bA	7.53bB	7.62aB

注:表中所列数据均为观测值的平均值。1)相同小写字母表示同年内,单、间作(系统)之间在LSD $P<0.05$ 水平差异不显著(垂直方向比较);2)相同大写字母表示同年内同一个系统内不同¹⁵N施入深度之间在LSD $P<0.05$ 水平差异不显著(水平方向比较);3)表示单作果树与单作小麦的加权平均值。

Note: Values are weighted mean of observations; 1) Treatment comparison between monocropped and intercropping system is followed by lower case letters. Treatment values followed by the same lower case letter (within column) are not significantly different at the 0.05 level of probability; 2) Within-treatment comparison among five imbedding depths followed by the same capital letters within the row are not significantly different at the 0.05 level of probability; 3) The weighted means of corresponding monocropped crops.

3.3 作物的氮肥利用率(%UFN)

间作体系与单作加权平均的%UFN只在¹⁵N施入的40cm深度处理间差异显著,间作体系的%UFN在该深度比单作加权平均值高出1.64个百分点($P=0.037$);间作枣树与单作枣树的%UFN在¹⁵N施入的20、40、80、120cm深度处理间差异显著,间作枣树的%UFN比单作枣树低0.47($P=0.015$)、0.45($P=0.025$)、0.8($P<0.001$)和0.15($P=0.037$)个百分点。间作小麦和单作小麦之间差异不显著(表3)。

4 讨论

4.1 N吸收量

实验数据表明,间作体系的N吸收量较单作体系加权平均值高出88.7%,说明间作体系较单作体系具有明显的N素吸收累积优势。单作枣树和间作枣树的N吸收量之间差异不显著,然而两种配置之间存在着微弱的趋势:间作枣树的N吸收量较单作枣树高出1.1%。Jose等认为无根系分隔处理的

核桃树N吸收量较单作核桃树高^[4]。他们在黑核桃/玉米复合系统发现无根系分隔处理的核桃树N吸收量较单作核桃树高出15.5%。这是因为无根系分隔处理的核桃树根系从间作复合系统中吸收到了氮素,所以使无根系分隔处理的核桃树N吸收量更高。

表3 枣树/小麦系统氮素利用效率UFN/%

Table 3 Percentage utilization of fertilizer (%UFN) of jujube tree alley cropping systems

处理 Treatment	¹⁵ N 施入深度/cm				
	Imbedding depths of ¹⁵ N - enriched CO(NH ₂) ₂				
	20	40	80	120	200
间作体系 Intercropping	9.37a ¹⁾ AB ²⁾	9.85aA	8.26aB	4.72aC	3.99aC
单作加权平均值 ³⁾ Expected	8.73aA	8.21bAB	7.53aB	4.46aC	3.89aC
间作枣树 Intercropped jujube tree	1.08bA	1.03bA	0.98bA	1.06bA	1.07aA
单作枣树 Monocropped jujube tree	1.55aAC	1.48aAB	1.78aA	1.21aBC	1.03aB
间作小麦 Intercropped wheat	8.29aAB	8.82aA	7.27aB	3.31aC	3.70aC
单作小麦 Monocropped wheat	10.69aA	10.05aA	9.10aA	5.35aB	4.67aB

注:表中所列数据均为观测值的平均值。1)相同小写字母表示同年内,单、间作(系统)之间在LSD $P<0.05$ 水平差异不显著(垂直方向比较);2)相同大写字母表示同年内同一个系统内不同¹⁵N施入深度之间在LSD $P<0.05$ 水平差异不显著(水平方向比较);3)表示单作果树与单作小麦的加权平均值。

Note: Values are weighted mean of observations; 1) Treatment comparison between monocropped and intercropping system is followed by lower case letters. Treatment values followed by the same lower case letter (within column) are not significantly different at the 0.05 level of probability; 2) Within-treatment comparison among five imbedding depths followed by the same capital letters within the row are not significantly different at the 0.05 level of probability; 3) The weighted means of corresponding monocropped crops.

单作小麦和间作小麦的N吸收量之间表现出一定的显著差异,同时我们还观察到单作小麦的N吸收量均较间作小麦高出10.2%,单作小麦因为有着较高的生物量所以N吸收量较间作小麦高。Zamora等在火炬松(*Pinus taeda* L.)/棉花(*Gossypium hirsutum* K. Koch.)复合系统中也得到类似的结论^[10];根系分隔处理的棉花器官组织比无根系分隔处理的N吸收量高出21%。Allen等在美洲山核桃/棉花复合系统中发现根系分隔处理的棉花器官组织比无根系分隔处理的N吸收量高出18%,并认为根系分隔处理条件下地下部的棉花根系竞争较无根系分隔处理的少是形成该结果的重要原因^[11]。类似的结果在其它研究中也报道^[10,12,14]。在本研究中,间作小麦因为种间根系竞争导致其生物量较单作小麦低,所以N吸收量也较低。对于¹⁵N

不同埋深的处理,间作小麦各深度间没有差异,而单作小麦存在一定差异。

4.2 作物吸收氮素来自肥料的比例(%NDFP)

间作体系与单作体系加权平均值的%NDFP 存在显著差异,且间作体系的%NDFP 较单作加权平均值高出 11.67 个百分点。前人的研究结论认为,农林复合系统中间作系统比单作系统%NDFP 高的原因主要在于树与作物对氮素吸收利用时间生态位上的分异^[15-17]。大多数情况下,间作群体中一种作物(A)对氮素的吸收利用时间早于另一种作物(B),因此当 B 作物也进入氮素吸收高峰期时,作物 A 已经消耗了土壤中的一部分氮素,致使间作系统内的土壤氮素较单作系统低,此时间作系统内两种作物将较单作系统更多的利用所施入的氮肥,最终使间作系统比单作系统的%NDFP 高^[18]。在我们的研究区域中,冬小麦通常于三月初开始萌动,而枣树在三月底至四月初开始萌芽,间作小麦先于间作枣树利用土壤中的氮素,所以间作体系在小麦生长的中后期更多的利用了施入的氮肥,其%NDFP 也较单作加权平均值高。相似的结果在上述美洲山核桃/棉花的农林复合系统研究中也得到印证^[10,12]。

间作小麦和单作小麦的%NDFP 之间差异显著,间作小麦的 NDFP 较单作小麦高出 16.26 个百分点。间作枣树的%NDFP 较单作枣树高出 5.12 个百分点。Zamora 等在火炬松/棉花复合系统中得到类似的结论^[10],无根系分隔处理中棉花的%NDFP 较根系分隔处理高 33%–40%,无根系分隔处理火炬松的%NDFP 为 1.05%,而根系分隔处理为 0.31%。Allen 等也在美洲山核桃/棉花复合系统中发现无根系分隔处理中棉花的%NDFP 较根系分隔处理高 22.5 %^[12]。Rowe 等认为这种现象的发生是因为根系分隔处理的棉花或火炬松根系更容易吸收到已经存在于土壤中的氮素,而不是吸收施入到土壤中的氮肥^[17]。

4.3 氮素利用率(%UFN)

试验数据表明,间作体系与单作体系加权平均的氮素利用率存在一定差异,且间作体系的氮素利用率较单作体系加权平均值高出 3.37 个百分点。Lehmann 等在刺槐/高粱间作复合群体中发现间作群体的氮素利用率高于单作系统^[8]。另外,除了从地上部植物组织¹⁵N 含量考察间作和单作加权平均值的氮素利用率外,我们认为间作体系地下部两种作物的根系分解对间作体系更高的氮素利用率也具有一定贡献。蒋三乃等认为,在某些单作林带中

引入合适的辅助树种或农作物后间作系统将加快地下部两种作物的细根和地上部林下调落物的分解速度,从而加速系统的养分循环,提高林地的养分水平,因为地下部细根的分解速度较地上部凋落物高,所以细根分解在农林复合系统中养分归还方面要比地上部分凋落物具有更大的作用^[19]。尽管目前对农林复合系统凋落物混合分解的机理还不太清楚,但许多研究也都先后证明了上述观点^[20-24]。

单作枣树和间作枣树的氮素利用效率之间存在一定差异,同时两种配置之间存在着明显的趋势:单作枣树的氮素利用效率较间作枣树高出 1.83 个百分点。Jose 等认为间作树木因为种间竞争而无法像单作树木那样有效的利用土壤和肥料中的养分,这可能是间作树木氮肥利用率低于单作的原因^[4]。单作小麦和间作小麦的氮素利用效率之间差异不显著,然而我们仍然观察到一个明显的趋势:间作小麦的氮素利用效率均较单作小麦高出 5.62 个百分点。我们认为这是因为间作小麦较单作小麦更多的利用了边际效应,利用到更多的光照,补充到更多的 CO₂,从而提高了其氮素利用效率。陈雨海等利用¹⁵N 稳定性同位素在小麦/菠菜间作系统中发现,小麦的边行优势与其植株吸收 N 素的能力呈密切正相关^[25]。

我们的研究同时也表明两种作物对氮素的吸收具有较大差异。枣树在各处理中的氮素利用率均低于小麦。很明显,枣树在氮素利用方面竞争不过小麦。Nissen 等在桉树/卷心菜农林复合系统中也得到类似结论^[6]。从¹⁵N 施入的不同土层来看,单、间作小麦系统和单、间作复合系统的氮素利用率的最低值均出现在 120、200 cm 处理,这可能是由于小麦根系在深层土壤分布的较少而引起深层氮素利用率低的原因。

5 结 论

本研究中枣树/小麦复合系统内发生了氮素的种间竞争。间作体系的 N 吸收量较单作体系加权平均值高的趋势即可以证明这一点。间作体系的 NDFP 均较单作体系加权平均值高,这主要由农林复合系统中树与作物对氮素吸收利用时间的不同步造成。间作体系均较单作体系加权平均值的氮素利用效率高,表明间作体系确比单作具有氮素利用的优势。本研究同时表明,枣树的氮素利用率低于小麦;各系统的氮素利用率最低值均出现在¹⁵N 施入的 120、200 cm 处理,这与作物根系在深层分布

较少有密切关系。我们建议在田间管理中增施一定肥料将有助于缓解种间对氮素的竞争。

参考文献:

- [1] Zhang W, Ahanbieke P, Wang B J, et al. Root distribution and interactions in jujube tree/wheat agroforestry system [J]. *Agroforestry systems*, 2013, 87:929 - 939.
- [2] Zhang F S, Shen J B, Li L, et al. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China [J]. *Plant and Soil*, 2004, 260:89 - 99.
- [3] 季方,樊自立,赵贵海. 新疆两大沙漠风沙土土壤理化特性对比分析[J]. *干旱区研究*, 1995, 12(1):19 - 25
- [4] Jose S, Gillespie A R, Seifert J R. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the Midwestern USA. 2. Competition for water [J]. *Agroforestry systems*, 2000, 48:41 - 49.
- [5] Williams P A, Gordon A M, Garrett H E, et al. *Agroforestry in North America and its role in farming systems*[C]//Gordon A M, Newman S M. *Temperate Agroforestry Systems*, Wallington, U K: CAB International, 1997:9 - 84.
- [6] Nissen T M, Midmore D J, Cabrera M L. Aboveground and belowground competition between intercropped cabbage and young *Eucalyptus torelliana* [J]. *Agroforestry systems*, 1999, 46: 83 - 93.
- [7] Zaharah A R, Bah A R, Mwange N K, et al. Management of *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) residues for improved sweet corn yield in an ultisol[J]. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 1999, 54:31 - 39.
- [8] Lehmann J, Gebauer G, Zech W, et al. Nitrogen cycling assessment in a hedgerow intercropping system using ^{15}N enrichment [J]. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 2002, 62: 1 - 9.
- [9] Kunhamu T K, Kumar B M, Viswanath S, et al. Root activity of young *Acacia mangium* Willd trees; influence of stand density and pruning as studied by ^{32}P soil injection technique[J]. *Agroforestry systems*, 2010, 78:27 - 38.
- [10] Zamora D S, Jose S, Napolitano K, et al. Competition for ^{15}N labeled nitrogen in a loblolly pine - cotton alley cropping system in the southeastern United States[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 131:40 - 50.
- [11] Allen S C, Jose S, Nair P K R, et al. Competition for ^{15}N labeled fertilizer in a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States[J]. *Plant and Soil*, 2004, 263:151 - 164.
- [12] Allen S C, Jose S, Nair P K R., et al. Safety-net role of tree roots; evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 192: 395 - 407.
- [13] Hagan D L, Jose S, Thetford M, et al. Partitioning of applied ^{15}N fertilizer in a longleaf pine and native woody ornamental intercropping system [J]. *Agroforestry systems*, 2010, 79: 47 - 57.
- [14] Gillespie A R, Jose S, Mengel D B, et al. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the mid-western USA: 1. Production physiology[J]. *Agroforestry systems*, 2000, 48:25 - 40.
- [15] Xu Z H, Saffinga P G, Myers R J K, et al. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics[J]. *Plant and Soil*, 1993, 148:63 - 72.
- [16] Handayanto E, Giller K E, Cadisch G, et al. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29: 1417 - 1426.
- [17] Rowe E C, Hairiah K, Giller K E, et al. Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by N-15 placement at different soil depths[J]. *Agroforestry systems*, 1999, 43:81 - 93.
- [18] Lucash M S, Joslin J D, Yanai R, et al. Temporal variation in nutrient uptake capacity by intact roots of mature loblolly pine [J]. *Plant and Soil*, 2005, 272:253 - 262.
- [19] 蒋三乃,翟明普,贾黎明.混交林种间养分关系研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2001, 23(2):72 - 77.
- [20] Giardina C P, Huffman S, Binkley D, et al. Alders increase soil phosphorus availability in a Douglas-fir plantation[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1995, 25:1652 - 1657.
- [21] Ibrahima A, Joffre R, Gillon D. Changes in litter during the initial leaching phase; an experiment on the leaf litter of Mediterranean species [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27: 931 - 939.
- [22] Prescott C E. Influence of forest type on rates of litter decomposition in microcosms [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28:1319 - 1325.
- [23] Hart S C, Binkley D, Perry D A. Influence of red alder on soil nitrogen transformation in two conifer forests of contrasting productivity[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29: 1111 - 1123.
- [24] Pardo F, Gil L, Pardos J A. A field study of beech (*Fagus sylvatica* L.) and melojo oak (*Quercus pyrenaica* Willd) leaf litter decomposition in the centre of the Iberian Peninsula[J]. *Plant and Soil*, 1997, 191:89 - 100.
- [25] 陈雨海,余松烈,于振文.小麦间作菠菜的边际效应与基施氮肥利用率[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(1):29 - 33.