

CNIC-00974

CSNAS-0091

CN9600978

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE
AND TECHNOLOGY REPORT

用 ^{15}N 示踪研究大豆和玉米在混作系统的生态互补作用

A STUDY ON ECO-SUPPLEMENT OF
SOYBEAN AND MAIZE MIXCROPPING
SYSTEM WITH ^{15}N ISOTOPE DILUTION

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



朱树秀：副研究员，新疆农业科学院粮食作物研究所副所长。1964年毕业于北京农业大学农业物理专业。

Zhu Shuxiu, Associate professor, deputy director of Institute of Grain Crops, Xinjian Academy of Agricultural Sciences. Graduated from Beijing Agricultural University in 1964, Majoring in agricultural physics.

CNIC-00974

CSNAS-0091

用 ^{15}N 示踪研究大豆和玉米在 混作系统的生态互补作用*

朱树秀 季 良 阿米娜

(新疆农科院粮食作物研究所, 乌鲁木齐)

束天庚 李正莲 张 涛

(新疆生产建设兵团军户农场生产科, 昌吉)

摘 要

用 ^{15}N 同位素稀释技术分别通过盆栽、小区和大田示范对比试验, 研究了大豆与玉米植株在单作和混作系统中的氮行为和生态互补作用。结果表明, 混作时玉米植株来自土壤氮比单播降低了 9.13%~24.58%, 来自肥料氮比单播时降低了 7.15%~22.52%, 减低了玉米植株对土壤和肥料氮的剧烈竞争。混作时大豆固定的氮除供本身生长发育用外, 还能转移给与之混作的玉米植株, 输出率达 18.44%~35.32%, 使玉米植株从与之混作的大豆根际获得本身生长所需氮的 8.75%~24.05%, 成为玉米植株土壤和肥料氮之外的第 3 氮源。这种负反馈机制使混作系统中大豆植株的固氮率比单作时提高 29.10%~32.69%。对大豆混作玉米进行了示范, 每公顷收获大豆与玉米的复合产值分别比大豆单作增收 30.51%和 52.95%, 比玉米单作增收 22.60%和 43.69%。大豆与玉米以 2:1 株数比混作时, 两种作物植株的含氮量比其他混作组合的高, 对土壤氮的消耗则比其他组合的低, 表现出 2:1 混作组合的氮营养优势。

* 新疆自然科学基金资助项目。
由中国原子能农学会供稿。

A STUDY ON ECO-SUPPLEMENT OF SOYBEAN AND MAIZE MIXCROPPING SYSTEM WITH ^{15}N ISOTOPE DILUTION*

(In Chinese)

Zhu Shuxiu Ji Liang Amina

(INSTITUTE OF GRAIN CROPS, XINJIANG ACADEMY
OF AGRICULTURAL SCIENCES, ULUMQI)

Shu Tiangeng Li Zhenglian Zhang Tao

(JUNHU FARMS, XINJIANG PRODUCTION
AND CONSTRUCTION CORPS, CHANJI)

ABSTRACT

An eco-supplement research of maize and soybean standing plants in their mixcropping systems was conducted in plot and potting experiments using ^{15}N isotope dilution method. The results shown that the $\%N_{dfa}$ and $\%N_{dff}$ of the maize plants in mixculture had a decrease by 9.13%~24.58% and 7.15%~22.52% repectively compared with the monoculture. The N_{dfa} of soybean plants in the mixculture could be transfered to the maize plants and the $\%N_{dfa}$ was 18.44%~35.32%. The 8.75%~24.05% of nitrogen of the maize plants in the mixculture were from the N_{dfa} of soybean plants. It is one of the reasons that the $\%N_{dfa}$ of soybean plants had an increase by 29.10%~32.69% in the mixculture of maize and soybean plants. A mixcropping field demonstration was done. The output value per hectare had an increase by 43.12% compared with soybean monoculture and 33.44% compared with maize monoculture. In the soybean and maize mixcropping system in which the ratio of standing plants is 2 : 1, the plant nitrogen content of two crops is higher and the consumption of soil nitrogen is lower than in the other mixcropping system.

* Contributed by the Chinese Society of Nuclear-Agricultural Sciences (CSNAS).

大豆是一种高固氮作物，在培肥地力和维护农田生态氮素平衡中有重要作用。科学工作者一直在研究提高豆科作物固氮能力和最大限度地应用生物固氮的机理和措施。其中之一就是通过豆科作物与禾本科作物在时间和空间上的合理搭配，寻求有利于两种作物正常生长，并同时获得两种作物的优质高产的栽培体系。以大豆为主要组分的大豆与玉米间混作就是充分利用大豆共生固氮作用的一项卓有成效的耕作措施，它在我国具有悠久的栽培历史，目前仍广泛应用于大田生产中。科学工作者曾从农学特性方面对混作优势做过大量研究，但对大豆和玉米混作系统中氮素转移等氮行为的研究报道较少^[1~4]。本试验用¹⁵N示踪稀释技术比较了单作和混作系统中大豆固氮率、固氮产物转移、玉米植株氮来源及对固氮产物的吸收情况。并通过大田示范比较了单位面积土地上单混播作业的复合产值，对大豆与玉米以不同种间比例组合的氮营养优势也作了探讨。通过试验数据揭示了玉米和大豆在混作系统的氮行为和生态互补作用，为阐明大豆和玉米的混作优势，合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

供试玉米为 SC704，大豆为绥农 8 号。播种时大豆种子用根瘤菌（*Rhizobium meliloti*）接种。示踪剂（¹⁵NH₄）₂SO₄ 由上海化工研究院提供，¹⁵N 丰度为 5.29%。试验组合有大豆与玉米单播和 3:1、2:1 和 1:1 的大豆和玉米不同种间比例（株数化）混播。作物成熟时进行考种和计产。盆栽植株和对于划定的小区试验的最小单元地上部植株（大豆+玉米植株分别为 3+1、2+1、1+1、1+0 和 0+1）经烘干，送新疆农业科学院中心实验室作全氮和¹⁵N 丰度测定。用凯氏定氮法对收获植株和土壤进行含氮量分析，用¹⁵N 同位素稀释技术评估单混作系统的氮行为和混作系统中两种作物的生态互补作用。

1.1 小区试验

1992 年的试验在新疆生产建设兵团农六师军户农场进行。耕层土壤含有机质 11.69 g/kg，全氮和全磷分别为 0.656 g/kg 和 0.619 g/kg，速氮和速磷分别为 45.5 mg/kg 和 5.71 mg/kg，pH 8.34。1993 年的试验则在新疆石河子农业科技中心进行。播前土壤含有机质 88.2 g/kg，全氮 3.45 g/kg，全磷 1.13 g/kg，pH 8.02。速氮 191.0 mg/kg，速磷 25.3 mg/kg。试验采用随机区组设计，重复 4 次。小区面积皆为 3.60×8.00 m²。6 行区，0.60 m 等行距。播种时每小区分别施入 432 g 三料过磷酸钙。头水前追施 367 g 尿素，同时在每小区划定的最小种植单元（2.6×2.3 m²）以等氮量的（¹⁵NH₄）₂SO₄ 取代尿素，即施入 5.14 g（¹⁵NH₄）₂SO₄。其他田间管理措施与大田相同。

1.2 盆栽试验

1992 年和 1993 年皆在新疆农科院粮作所网室内进行。用无底漏塑料桶，内径 33 cm，高 29 cm。供试土壤与大田小区试验相同。每桶装入过筛土 10 kg。按各处理的最小单元种植。重复 10 次。播种、施肥和接菌处理皆同小区试验。

1.3 大田示范

供试耕层土壤含有机质 13.0 g/kg，速效氮和速效磷分别为 41.3 和 22.6 mg/kg。1994 年 4 月 25 日播种，大豆和玉米每公顷定苗数见表 3。播深 5~6 cm。采用 58×12 cm 宽窄行播种。播种时带种肥三料过磷酸钙 240 kg/ha 和磷酸二铵 315 kg/ha。玉米二叶一心后每隔 10~15 天中耕除草 1 次，共 3 次。在最后一次中耕除草时结合开沟，每公顷条施尿素

375 kg。6月10日灌头水。以后每隔15~20天灌水1次,全生育期共灌水5次。大豆9月中旬收获。玉米10月初收获。

1.4 计算公式^[3]

把样品中的¹⁵N丰度与天然丰度的差值记为¹⁵N原子百分超, $A\%E$ 。

(1) 玉米植株从肥料中摄取的氮占植株全氮的百分数:

$$\%N_{\text{diff}} = \frac{A\%E(\text{植物})}{A\%E(\text{土壤})} \times 100\%$$

(2) 玉米植株从土壤中摄取的氮占植株全氮的百分数:

$$\%N_{\text{dft}} = 1 - \%N_{\text{diff}}$$

(3) 玉米植株从与之混作的大豆固氮产物中所获得的氮占植株全氮的百分数:

$$\%N_{\text{dft}} = \left(1 - \frac{A\%E(\text{玉米,混播})}{A\%E(\text{玉米,单播})}\right) \times 100\%$$

(4) 大豆植株转移给与之混作的玉米植株的氮占大豆植株全氮的百分数:

$$\%N_{\text{dft}} = \frac{A\%E(\text{玉米混播}) - A\%E(\text{玉米单播})}{A\%E(\text{大豆混播}) - A\%E(\text{大豆单播})} \times 100\%$$

2 结果和分析

2.1 玉米植株在单播和混播中的氮来源

试验数据(表1)表明,玉米植株的氮主要来自土壤。小区和盆栽试验中单作玉米植株来自土壤的氮分别占90.36%~92.88%和62.33%~87.20%,来自肥料的氮仅占7.12%~9.64%和12.80%~37.67%。混播时玉米植株来自肥料和土壤的氮平均比单作降低了7.15%~22.52%和9.13%~24.50%。Rerkasem等人(1988)^[5]在泰国北部进行的玉米和红豆间作试验中,也测到红豆固定较多的氮而使玉米对土壤原有氮素消耗量减少的现象。在混作系统中大豆固定的氮更易被与混作的玉米植株吸收利用,从而减轻了玉米植株对土壤氮的剧烈竞争,对发展低供氮水平地区豆类和禾谷类作物的间混作种植具有重大的理论和实践意义。

表1数据也表明,与大豆混作时,玉米植株的氮除来自土壤和肥料外,还增加了第3氮源,因为发生了固氮产物转移。根据Ofori和Stern(1987)^[6]的观点,固氮转移是豆科固氮作物向禾本科作物转移固氮产物的一种生态互补现象,其中包括发生在有豆科作物为主要组分的间混作群体之间和受益于土壤中豆科作物固氮产物残留的后作物。这里讨论的是大豆和玉米混作之间发生的固氮转移。两年的盆栽和小区试验表明,混作玉米从大豆固氮产物中平均获得8.75%~24.05%的氮。Patra等(1986)^[7]发现温室试验中,玉米植株能从与之混作的红豆植株根际获得32%的氮,大田试验中玉米获得的转移氮达到21.2 kgN/ha。Martin等人(1991)^[8]也用¹⁵N同位素稀释技术研究大豆与玉米间混作时,发现混作系统在施氮和不施氮条件下皆发生固氮转移,混作季节内固氮产物转移量达3.99 kgN/ha。Hellreigel(1988)^[9]也证明禾谷类作物可吸收与之伴生的豆科作物根际所固定的氮素。Stern(1993)^[10]认为在农业生产中,间混作作业的成败,首先取决于豆科作物组分有效的固氮%,但更重要的则是取决于后发生的豆科作物向与之伴生的禾本科作物的固氮产物转移。他强调农学家必须对生物固氮作用有一足够的认识,并尽可能地利用固氮转移,千方百计地引导农民更深刻、更广泛地应用有效氮。

表 1 玉米植株在单播和混播系统中的氮来源

Table 1 Nitrogen source of maize plants in monoculture and mixcropping

处理 Treatment		大豆比玉米 soybean : maize				
		3 : 1	2 : 1	1 : 1	0 : 1	
肥料氮 % N_{diff}	小区 plot	1992	4.95	5.65	4.97	7.12
		1993	6.58	9.20	8.02	9.64
	比单播减少% Decrease *		31.21	10.92	22.49	
	盆栽 Potting	1992	9.80	11.62	11.29	12.80
		1993	33.69	37.15	35.38	37.67
	比单播减少% Decrease		13.83	3.37	7.53	
	平均比单播减少% Decrease in average		22.52	7.15	15.01	
肥料氮 % N_{diff}	小区 plot	1992	64.52	73.67	64.88	92.88
		1993	61.72	86.99	75.22	90.36
	比单播减少% Decrease *		31.11	12.32	23.54	
	盆栽 Potting	1992	66.80	79.18	76.93	87.20
		1993	55.75	61.46	58.54	62.33
	比单播减少% Decrease		18.04	5.95	9.40	
	平均比单播减少% Decrease in average		24.58	9.13	16.47	
转移氮 % N_{diff}	小区 plot	1992	30.53	20.68	30.14	
		1993	31.70	3.73	16.76	
	盆栽 Potting	1992	23.40	9.20	11.78	
		1993	10.56	6.39	6.08	
	平均 Average		24.05	8.75	16.19	

* in mixcropping compared with monoculture.

2.2 大豆植株在单播和混播系统中的固氮率和固氮产物输出

在以豆科固氮作物为主要组分的间混作系统中, 氮的主要来源有豆科作物所固定的大气氮, 土壤有效氮和肥料氮。系统氮的损失则有收获物, 特别是种子带走的氮, 土壤反硝化作用和通过渗漏、挥发所损失的氮, Ofori 和 Stern (1993)^[4]认为豆科作物的固氮作用和系统作物生长期氮转移及残留在土壤中的固氮产物在维护系统氮平衡中起到极其重要的作用。试验数据(表 2)表明, 在以大豆为主要组分的大豆玉米混作系统中大豆的固氮率比单作时有较大幅度的提高, 小区试验提高了 24.92%~48.22%, 盆栽试验提高了 17.15%~33.27%, 平均提高 29.10%~32.69%。混作大豆固定的氮向与之混作的玉米植株输出量占大豆植株全氮的%, 小区试验为 23.08%~43.81%, 盆栽试验为 13.23%~26.83%, 平均达 18.44%~35.32%。表明在混作系统中, 大豆植株固定的氮可同时供大豆植株本身和与之混作的玉米植株生长发育用, 形成固氮系统的两条供应线。由于这两条供应线的竞争和负反馈机制的作用, 导致了混作大豆固氮率的提高。朱树秀等 (1992)^[3]曾测到新疆大叶苜蓿的固氮率在与禾本科牧草老芒麦混作时提高了 12.21%~35.87%。近年的研究表明, 在混作系统中, 禾本科和豆科植物的伴生关系是相互而复杂的。首先, 禾本科植物一方面受益于豆科植物, 即通过固氮提供氮源。另一方面禾本科植物本身的分泌物亦可对豆科植物施加影响。其次豆科植物在单播与混播系统中因密度不同及禾本科植物的参与而形成不同的生存环境, 也会造成单播和混播系统中豆科植物固氮率的差异。第三, 豆科植物的固氮能力既受遗传性所决定, 亦受土壤, 即根际环境中氮水平所制约, 即所谓负反馈机制, 固氮产物向禾本科植物不断转移, 降低了豆科植物根际环境中氮水平, 有利于豆科植物固氮, 提高固氮率是必然结果。有关在混作系统中豆科作物固氮率的提高机理尚待深入研究。

表 2 大豆植株在混作系统中的固氮作用和氮输出 (1993)

Table 2 % N_{df} and %increase of N_2 -fixation in soybean in mixcropping

处理 Treatment		大豆比玉米 soybean : maize		
		3 : 1	2 : 1	1 : 1
大豆固氮产物输出 % N_{df}				
小区	plot	43.81	31.04	23.08
盆栽	potting	26.83	13.23	13.79
平均	Average	35.32	22.14	18.44
大豆固氮作用提高 % N_{dsi}				
小区	plot	24.92	40.85	48.22
盆栽	potting	33.27	22.11	17.15
平均	Average	29.10	31.48	32.69

2.3 混播作业提高了单位面积产值

表 3 大豆混作玉米大田示范产值比较 (新疆昌吉, 1994)

Table 3 Output value of soybean and maize in mixture comparing with monoculture (XinJiang Changji, 1994)

种植方式 culture	作物 crops	公顷 ha	株/公顷 plants/ha	株(荚)数 ears or pods per plant	棒(荚)粒数 kernels/ear or pod	百粒重 100-kernal weight	产量 yield (kg/ha)	产值 output value (yuan/ha) *	比单播增值 ** increment (%)
混作 mixculture	大豆 soybean	26.7	145,980	26.3	2.5	20.4	1958.0		30.51
	玉米 maize		27,480	1.0	764.0	29.8	6256.0	8920.8	22.60
	大豆 soybean	22.4	288,000	29.2	2.8	19.0	4473.9	10454.8	52.95
	玉米 maize		7,500	1.3	690.0	28.0	1883.7		43.69
单作 monoculture (ck)	大豆 soybean	13.3	286,815	26.3	2.3	19.7	3417.8	6835.6	
	玉米 maize	20.0	56,400	1.0	560.0	28.0	8843.5	7276.2	
	玉米 maize	26.7	62,370	1.0	541.0	27.7	9346.9		

* 大豆和玉米的单价分别 2.0 和 0.8 元/kg. The price of soybean and maize is 2.0 and 0.8 yuan/kg

* * in mixculture comparing with monoculture

表 3 数据表明, 大豆与玉米混作时, 单位面积收获大豆和玉米复合产值比大豆单作增收 30.51%~52.95%, 比玉米单作增收 22.60%~43.69%, 取得了显著的经济效益。其中混作大豆的荚粒数比单播提高 8.70%~21.74%, 混作玉米的穗粒数要比单播提高 25.34%~38.78%。籽粒的百粒重也有所增加。左文涵 (1994)^[2]的试验表明, 地膜玉米与芸豆混播时, 控制芸豆与玉米株数比为 3:1 和 2:1 时, 有利于两种作物的正常生长, 可使复合产量和产值同时增加。据田间观察, 大豆与玉米混作的生态互补作用除混作系统内的固氮产物转移外, 还有诸多优点。例如, 大豆种子芽顶土能力强, 混播时可减少玉米籽种出苗过程中的营养消耗, 使玉米出苗快, 幼苗生长整齐和健壮。大豆为喜阴作物, 新疆七月份气温高, 日照长, 是大豆营养生长和生殖生长并进时期, 植株蒸腾强度达到高峰, 是大豆需水的临界期。如果这个时期水分供应不足。幼荚就会大量脱落, 对大豆产量影响极大。混播后高大的玉米茎叶为大豆起到了遮阴保墒作用, 有利于大豆的鼓粒成熟。而高密度大豆植株又可抑制田间杂草生长, 减弱了地面水份蒸发, 从而减少对玉米的灌水次数。新疆近来引进南斯拉夫高产玉米品种, SC704 已成为主栽品种, 并推广密植, 一般每公顷达 60000 株。SC704 玉米茎秆高大, 叶片茂盛, 以玉米为主的混播系统中, 大豆植株实际上不能正常生长结实。而以大豆为主的混播系统中, 玉米属稀播, 植株群体间通风透气好, 利用阳光

充分，又可获得第3氮源。单株发育好，籽粒灌浆饱满，成熟快，确保及时收获仓贮，所以本试验大田示范采用大豆混播玉米方式。Park-Hurst (1986)^[11]认为，人多地少的亚洲国家迫切需要在相同时间内增加单位面积产量。这就要既选育高产品种，又要有好的栽培体系。他指出在间混作系统中，玉米和高粱等禾本科作物的增产可由豆科作物固定的氮素转移而获得很好的效果。通过作物和时间、空间上的合理搭配，充分利用土地、光热和气候资源，发展多熟制种植，特别是大豆间混作玉米这一种植方式，在新疆的“增粮增棉，提高单位面积粮食产量和产值，腾出更多土地去发展棉花等经济作物优势产业”的举措中将会发挥出越来越大的经济和社会效益，并迅速得以推广。

2.4 混作系统中玉米和大豆植株的含氮量

表4 成熟期玉米和大豆植株含氮量 (g/kg)

Table 4 Total nitrogen content of maize and soybean plants in maturity

处理 Treatment		大豆：玉米 (株数) soybean : maize (plants)				
		3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 0	0 : 1
玉米 maize	1992 小区 plot	0.399	0.233	0.207		0.464
	1992 盆栽 potting	0.637	0.884	0.612		0.887
	1992 平均 average	0.518	0.599	0.410		0.676
	1993 小区 plot	0.703	0.999	0.497		0.612
	1993 盆栽 potting	0.803	0.878	0.502		0.708
	1993 平均 average	0.753	0.939	0.500		0.660
	两年平均 Average (1992 and 1993)	0.636	0.749	0.455		0.668
比 值 Ratio		84.91	100	60.74		89.19
大豆 soybean	1992 小区 plot	3.26	3.33	3.13	3.48	0.464
	1992 盆栽 potting	2.22	2.39	2.09	2.91	0.887
	1992 平均 average	2.74	2.86	2.61	3.20	0.676
	1993 小区 plot	3.732	3.759	3.301	3.499	
	1993 盆栽 potting	1.255	1.394	1.168	2.105	
	1993 平均 average	2.494	2.577	2.235	2.777	
	两年平均 Average (1992 and 1993)	2.617	2.719	2.423	2.989	
比 值 Ratio		96.25	100	89.11	100.93	

试验数据 (表4) 表明，在混作系统中，大豆和玉米以2:1株数比混作时，两种作物的植株含氮量都最高。其中大豆植株的含氮量比其它组合高出3.75%~10.89%，玉米植株的含氮量比其他混作组合高出15.09%~39.26%，表现出氮营养优势。表4数据还表明，大豆与玉米以2:1株数比种植时，玉米植株含氮量比单作玉米植株高出10.81%，表明玉米植株在该配比混作系统中比单作玉米能吸收更多氮素。但与单作大豆比较，所有配比的混作系统中，大豆植株的含氮量都比单作大豆植株稍低，显然这是在混作系统中，大豆植株将部分氮素转移给与之混作的玉米植株所致。

2.5 玉米和大豆混作对土壤氮素的影响

试验数据 (表5) 表明，混作系统中土壤氮素含量的变化情况与植株含氮变化趋势是一致的。大豆与玉米以3:1和1:1株数比混作时，种植后对土壤全氮的消耗分别比2:1株数比混作的高出4.54%和11.20%，对土壤速效氮的消耗分别比2:1混作系统的高出4.80%和6.18%，也表现出2:1组合的氮营养优势。Martin等人 (1991)^[8]在印度的大豆与玉米的间混作试验中也发现大豆与玉米以67%:33%=2:1株数比种植时，土壤和两种

作物的氮营养优势都最佳。试验数据还表明,所有混作系统的土壤全氮和速氮的消耗都高于大豆单作系统,但单作玉米对土壤全氮的消耗则高于混作系统,而单作玉米对土壤全氮的消耗则高于混作系统,充分显示出豆科固氮作物的固氮养地作用。

表 5 盆栽试验播前和收获后土壤含氮量比较

Table 5 N content in potting soil before seeding and after harvesting

处理 Treatment		大豆 : 玉米 (株数) soybean : maize (plants)				
		3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 0	0 : 1
全氮 Total N (g/kg)	播前 before seeding	2.37	2.42	2.32	2.23	2.26
	1992 收后 harvesting	1.99	2.02	2.00	1.89	1.99
	降低 decrease, %	16.03	16.53	13.79	15.25	11.95
	播前 before seeding	0.749	0.720	0.726	0.740	0.733
	1993 收后 after harvesting	0.707	0.690	0.659	0.778	0.657
	降低 decrease, %	5.61	4.17	9.23	+5.14	10.37
	平均降低 average decrease, % 比 值 ratio	10.82 104.54	10.35 100	11.51 111.20	5.06 48.89	11.16 107.83
速氮 Quick-acting N (mg/kg)	播前 before seeding	79.7	83.1	92.8	79.4	78.1
	1992 收后 harvesting	36.6	35.0	36.3	44.4	36.6
	降低 decrease, %	54.08	57.88	60.88	44.08	53.14
	播前 before seeding	111.7	106.9	105.0	109.7	107.8
	1993 收后 after harvesting	99.0	102.0	99.3	94.0	99.7
	降低 decrease, %	11.37	4.58	5.43	14.31	7.51
	平均降低 % average decrease, % 比 值 ratio	32.37 104.80	31.23 100	33.16 106.18	29.20 93.50	30.33 97.12

参 考 文 献

- [1] 刘翼浩, 韩湘玲编译. 世界多熟制种植. 北京: 农业出版社, 1980; 52~83
- [2] 左文涵. 地膜玉米混播芸豆对产量产值的影响. 耕作与栽培, 1994, 5: 1~4
- [3] 朱树秀, 杨志忠. 紫花苜蓿与老芒麦混播优势的研究. 中国农业科学, 1992, 25 (6): 63~68
- [4] Swaminathan M S, Sinha S K. Global aspects of food production. International Rice Research Institute (IRRI), 1986; 200~201
- [5] Rerkasem K, Rerkasem B. Yields and nitrogen nutrition of intercropping maize and ricebean. Plant and Soil, 1988; 108 (1): 151
- [6] Ofori F, Stern W R. Cereal-legume intercropping system. ADV. Agri., 1987, 41: 41~90
- [7] Patrad D, et al. ¹⁵N studies on the transfer of legume-fixed nitrogen to associated cereals in intercropping systems. Biol. Fertil Soil., 1986, 2: 165~171
- [8] Martin R C. et al. Nitrogen transfer from nodulating soybean to maize or to nonnodulating soybean in intercroppings the ¹⁵N dilution method. Plant and Soil, 1991, 132: 53~56
- [9] Mohapatra B K., Pradhan. Energy relationship in intercropping of maize with cowpea and ricebean. Indian Journal of Agri. Sci., 1993, 63 (6): 581~583
- [10] Stern W R. Nitrogen fixation and transfer in intercrop. Field Crop Research. 1993, 34: 335~356
- [11] Parkhurst A M, Francis C A. Research methods for multiple cropping in, C. A. Francis (Editor), Multiple cropping systems. Macmillan, New York, 1986; 285~317

(京) 新登字 077 号

图书在版编目 (CIP) 数据

用¹⁵N 示踪研究大豆和玉米在混作系统的生态互补作用=A STUDY ON ECO-SUPPLEMENT OF SOYBEAN AND MAIZE MIXCROPPING SYSTEM WITH ¹⁵N ISOTOPE DILUTION/朱树秀等著. —北京: 原子能出版社, 1995. 6

ISBN 7-5022-1363-5

I. 用… I. 朱… II. 大豆, 玉米; 固氮-生态互补 IV. S513

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 06329 号



原子能出版社出版发行

责任编辑: 李乾坤

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷



开本 787×1092 1/16 · 印张 3/4 · 字数 12 千字

1995 年 6 月北京第一版 · 1995 年 6 月北京第一次印刷

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1363-5



9 787502 213633 >