

施氮水平对不同种植制度下玉米氮利用及产量和品质的影响*

宁堂原¹ 焦念元^{1,2} 李增嘉^{1**} 张民³ 赵春^{1,4} 韩宾¹ 邵国庆¹

(¹ 山东农业大学农学院山东省作物生物学重点实验室, 山东泰安 271018; ² 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471003;

³ 山东农业大学资环学院, 山东泰安 271018; ⁴ 东营职业学院, 山东东营 257091)

【摘要】 研究了不同施氮量对套作和单作条件下春、夏玉米氮利用以及产量和品质的影响。结果表明,随着施氮量的增加,单作和套作条件下,春、夏玉米吸氮量显著增加,籽粒产量、生物产量和籽粒蛋白质产量也显著增加。由于春、夏玉米需求的养分种类与形态一致,低氮条件时竞争较激烈,春玉米处于优势地位,但其吸氮量仍低于单作。增加施氮量可以缓解这种竞争,利于玉米的高产优质。施氮量由 $187.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增至 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,春、夏玉米单作时生物产量平均增加 $1.717 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, 而套作时平均增加 $12.179 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$; 春、夏玉米单作时蛋白质产量平均增加 $0.305 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, 而套作时平均增加 $1.829 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$; 春夏玉米套作的土地当量比由 1.59 增加到 1.91。与单作相比,春夏玉米套作可显著提高玉米产量和改善品质,增施氮肥有利于套作条件下玉米高产优质潜力的充分发挥。

关键词 施氮量 玉米 单作 套作 氮吸收利用 产量 品质

文章编号 1001-9332(2006)12-2332-05 中图分类号 S513 文献标识码 A

Effects of N application rate on N utilization, yield and quality of maize under different cropping systems. NING Tangyuan¹, JIAO Nianyuan^{1,2}, LI Zengjia¹, ZHANG Min³, ZHAO Chun^{1,4}, HAN Bin¹, SHAO Guoqing¹ (¹ Key Laboratory of Crop Biology of Shandong Province, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China; ² College of Agronomy, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, Henan, China; ³ College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China; ⁴ Dongying Vocation College, Dongying 257091, Shandong, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(12): 2332 ~ 2336.

The study on the effects of N application rate on the N utilization, yield and quality of mono- and inter-cropped spring- and summer-sown maize showed that under both of the cropping systems, the N uptake, grain yield, dry matter accumulation, and grain protein yield of spring- and summer-sown maize were increased with increasing N application rate. Due to the same demand of N nutrition, there was a competition between spring- and summer-sown maize in inter-cropping system, especially under low level N application. Spring-sown maize was of superiority in inter-cropping system, but its N uptake was still less than that in mono-cropping system. The competition could be offset by increasing N application. When N application increased from $187.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the average increment of dry matter yield of mono-cropped spring- and summer-sown maize was $1.717 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, while that of inter-cropped spring- and summer-sown maize was $12.179 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$. The average increment of protein yield of mono- and inter-cropped spring- and summer-sown maize was $0.305 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$ and $1.829 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, respectively, with the land equivalent ratio increased from 1.59 to 1.91. Compared with mono-cropping, inter-cropping spring- and summer-sown maize could get higher yield and higher quality, and this effect was increased with increasing N application rate.

Key words N application rate, Maize, Mono-cropping, Inter-cropping, N uptake and utilization, Yield, Quality.

1 引 言

提高复种指数是确保中国粮食安全的重要举措之一,而提高复种指数的重要途径是扩大间套作等多熟种植的面积^[4,10,15]。由于能充分地利用土地、光、热、水等资源,达到高产优质与高效的统一,近年来,春夏玉米套作两熟在黄淮海地区,特别是一熟有

余两熟不足的地区得到了大面积的推广^[10,11,16]。宁堂原等^[11]研究表明,春夏玉米套作年产量可达 $18\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,每公顷纯收入达 20 000 元,同时可以生产 20 000 kg 以上的秸秆作饲料。这不但提高

* 国家自然科学基金项目(39870524)和山东农业大学青年科技创新基金资助项目(23218)。

** 通讯联系人。E-mail: lijz@sdau.edu.cn
2005-12-21 收稿,2006-10-13 接受。

了土地利用、缓解了人畜争粮争地的矛盾,而且提高了农民收入,在黄淮海地区有很大的推广前景。氮水平对单作条件下玉米产量和品质的影响,前人已做了大量研究^[5,12-14]。但与单作相比,春夏玉米套作存在着明显的氮竞争。这种竞争对春夏玉米套作复合群体产量和品质的影响等方面的研究鲜见报道。前人对其它间套作模式的研究表明,氮的不合理施用,会造成种间光、热、养分、水分等的不平衡,导致复合群体的竞争加剧^[4,6,8,9]。为此,本文研究了不同施氮量对套作和单作条件下春、夏玉米氮利用以及产量和品质的影响,旨在明确春夏玉米套作条件下氮利用特点及其对产量和品质的影响,为提高春夏玉米套作模式的产量和品质提供依据,同时,在营养同质条件下复合群体的氮竞争及调控方面丰富农业生态学的相关理论。

2 材料与方法

2.1 试验设计

试验于 2001 ~ 2002 年在山东农业大学农学试验站进行。试验土壤有机质 $18.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $0.152 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $0.0451 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $0.117 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验采用春夏玉米套作及春、夏玉米单作两种种植制度;春玉米品种为山农 3 号,夏玉米品种为郑单 958。套作处理:春玉米 3 月 15 日播种,株距 15 cm,大小行种植,大行距 160 cm,小行距 40 cm,密度为 $67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$;夏玉米于 6 月 25 日播在春玉米大行行间,株距、行距与春玉米相同。单作春、夏玉米与套作条件下的春、夏玉米播期、密度和田间配置均相同,只是大行间为空带,不套作玉米。套作设 3 个肥料水平,分别为 $N_0 (0 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2})$ 、 $N_1 (187.5 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2})$ 和 $N_2 (375 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2})$;单作设 $M_1 (187.5 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2})$ 和 $M_2 (375 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2})$ 2 个水平,随机区组设计,小区面积 100 m^2 ,3 次重复。氮肥分 2 次施入,其中,基肥 1/3,春玉米大口期追肥 2/3,每处理均施 P_2O_5 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 K_2O $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作基肥。

2.2 研究方法

春、夏玉米分别于开花期和成熟期取样,把籽粒和其它地上部器官分开, $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青 30 min, $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒重, $1/1\ 000$ 天平称重,样品粉碎制样,半微量凯氏定氮法测定全氮含量和蛋白质含量。春、夏玉米分别于收获时,调查籽粒产量和生物产量。

根据测定结果,计算花前转移氮量、籽粒花后吸收氮量和土地当量比。花前转移氮量 = 开花时地上部总吸氮量 - 收获时地上部除籽粒外各器官总吸氮量;籽粒花后吸收氮量 = 收获时籽粒吸氮量 - 花前转移氮量;土地当量比 = 套作总面积上春玉米的产量/单作春玉米的产量 + 套作总面积上夏玉米的产量/单作夏玉米的产量。

运用 SPSS 11.5 软件对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 施氮水平对不同种植制度下玉米产量的影响

由表 1 可知,随着施氮量的增加,春玉米秸秆及籽粒产量均显著增加。相同氮水平下,套作玉米的秸秆和籽粒产量均显著低于单作。施氮对产量的增加效应为 $INE_{2-1} > INE_{1-0}$, $INE_{2-1} > MNE_{2-1}$ 。

套作条件下,夏玉米秸秆及籽粒产量均随着施氮量的增加而显著增加;单作时,增施氮肥,秸秆产量增加,而籽粒产量却显著降低,导致地上部生物产量降低(表 1)。相同氮水平下,套作的玉米秸秆和籽粒产量均显著低于单作。套作条件下,施氮对玉米籽粒和地上部产量的增加效应为 $INE_{1-0} > INE_{2-1}$ 。与单作相比,氮素对不同器官的增加效应存在差异,籽粒和地上部为 $INE_{2-1} > MNE_{2-1}$,但秸秆为 $INE_{2-1} < MNE_{2-1}$ 。同时,套作条件下夏玉米的 INE_{1-0} 大于春玉米 INE_{1-0} ,而 INE_{2-1} 则相反。低氮时,春玉米生长量较小,能减少对夏玉米的影响;高氮时,春玉米生长量过大,反而会降低夏玉米的增产幅度。

单作和套作条件下,全年秸秆及籽粒产量均随着施氮量的增加而显著增加(表 1)。套作全年产量显著高于单作春、夏玉米, N_1 和 N_2 水平下籽粒产量的土地当量比分别为 1.59 和 1.91。施氮量由 $187.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增至 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,春、夏玉米单作时生物产量平均增加 $1.717 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$,而套作时平均增加 $12.179 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$,套作条件下生物产量的增幅显著高于单作。

3.2 施氮水平对不同种植制度下玉米氮吸收的影响

套作和单作条件下,增施氮肥均可显著提高春玉米秸秆和籽粒的吸氮量(表 2)。与单作相比,相同氮水平下套作处理玉米秸秆和籽粒吸氮量均显著减少。 INE_{2-1} 显著高于 MNE_{2-1} 。套作条件下,春玉米各器官的 INE_{2-1} 均显著高于 INE_{1-0} 。由此可以看出,单作条件下增施氮肥更多地提高了春玉米秸秆的吸氮量,而对春玉米籽粒的吸氮量影响较小;而套作条件下增施氮肥更多地促进了春玉米籽粒中氮的积累。

不同种植制度下,增施氮肥对夏玉米秸秆、籽粒及地上部吸氮量的影响与其对春玉米的影响趋势相似,但相同条件下夏玉米吸氮量显著低于春玉米,且夏玉米的 INE_{1-0} 、 INE_{2-1} 均小于春玉米(表 2)。低氮

时,施氮对套作夏玉米吸氮量的增加效应为:秸秆 > 籽粒,而高氮时则相反。

不同种植制度下,施氮水平对全年玉米秸秆和籽粒吸氮量的影响与其对春玉米的影响趋势相似(表2)。套作条件下,春、夏玉米地上部总吸氮量显著低于单作春玉米与单作夏玉米之和。单作条件下,春、夏玉米籽粒吸氮量分别占地上部总吸氮量的52.1%和59.1%;而套作条件下,春、夏玉米籽粒吸氮量分别占地上部总吸氮量的56.6%和61.7%。全年的 $INE_{2-1} > MNE_{2-1}$,地上部 INE_{2-1} 比春、夏玉米单作的平均 MNE_{2-1} 高2.45倍,套作条件下的单位施氮量对玉米吸氮量的增加效应更显著。

3.3 施氮水平对不同种植制度下玉米籽粒氮来源的影响

单作和套作条件下,随着施氮量的增加,春玉米花前吸收转移到籽粒中的氮量降低,而籽粒花后吸

氮量却显著增加(表3)。套作条件下,低氮时,籽粒中的氮更多地来源于花前转移;而高氮时,籽粒中的氮更多地来源于花后吸收。单作条件下,各施氮水平均表现为花后吸收 > 花前转移。花后吸收的 INE_{2-1} 显著高于 MNE_{2-1} ,套作条件下,增施氮肥对春玉米花后氮吸收的促进作用显著高于单作。

夏玉米花前转移氮量随着施氮量的增加先升高后降低,低氮时,籽粒中的氮更多地来源于花前转移;而高氮时,则更多的来源于花后吸收(表3)。相同氮水平时,套作条件下籽粒中的氮来源于花前转移的比例高于单作。夏玉米花前转移的 $INE_{1-0} > 0$, $INE_{2-1} < 0$;而花后吸收则相反。 INE_{2-1} 显著低于 MNE_{2-1} 。

从全年看,单作和套作条件下,随着施氮量的增加,花前转移氮量降低,而籽粒花后吸氮量却显著增加,其它趋势与夏玉米相同(表3)。

表1 施氮水平对不同种植制度下玉米产量的影响

Table 1 Effects of N application rate on yield of maize under different cropping systems ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	春玉米 Spring-sown maize			夏玉米 Summer-sown maize			全年 Whole year		
	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total
N_0	7783	6950	14733d	5598	7919	13517d	13381	14869	28250c
N_1	9088	7912	17000c	7099	9043	16143c	16187	16956	33143b
N_2	10587	9780	20366b	7506	9837	17343b	18093	19617	37710a
M_1	10870	10184	21054b				10870	10184	21054e
M_2	11442	10720	22162a				11442	10720	22162d
M_1				8335	11146	19481a	8335	11146	19481ef
M_2				9108	9909	19017a	9108	9909	19017f
INE_{1-0}	6.959	5.132	12.091b	8.005	5.994	14.005a	14.969	11.131	26.100a
INE_{2-1}	7.995	9.963	17.952a	2.171	4.235	6.400b	10.165	14.192	24.357a
MNE_{2-1}	3.051	2.859	5.909c				3.051	2.859	5.909b
MNE_{2-1}				4.123	-6.597	-2.475c	4.123	-6.597	-2.475c

INE_{j-i} 、 MNE_{j-i} 分别为套作、单作条件下,氮水平从 N_i 增加到 N_j 每千克氮对相应指标的增加效果 INE_{j-i} and MNE_{j-i} were the effects of per kg N on corresponding index of inter- and mono-cropping maize from the nitrogen used level i to j , respectively. 虚线上或下同一列数据后不同字母表示差异达0.05显著水平 Value without the same letters in the same column above or below broken line meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表2 施氮水平对不同种植制度下玉米植株吸氮量的影响

Table 2 Effects of N application rate on N accumulation of maize under different cropping systems ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	春玉米 Spring-sown maize			夏玉米 Summer-sown maize			全年 Whole year		
	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total	秸秆 Straw	籽粒 Grain	总和 Total
N_0	104.2	144.5	248.7e	70.9	134.8	205.7c	175.1	279.3	454.4cd
N_1	131.5	155.2	286.7d	101.9	138.0	239.9c	233.4	293.2	526.6b
N_2	162.7	220.4	383.2c	114.3	187.1	301.4a	277.0	407.5	684.5a
M_1	200.8	231.2	432.0b				200.8	231.2	432.0d
M_2	240.1	246.6	486.6a				240.1	246.6	486.6c
M_1				102.2	168.5	270.7b	102.2	168.5	270.7f
M_2				135.4	172.2	307.7a	135.4	172.2	307.7e
INE_{1-0}	0.145	0.057	0.202c	0.165	0.017	0.182b	0.311	0.074	0.385b
INE_{2-1}	0.166	0.348	0.515a	0.066	0.262	0.328a	0.233	0.610	0.842a
MNE_{2-1}	0.210	0.082	0.291b				0.210	0.082	0.291c
MNE_{2-1}				0.177	0.020	0.197b	0.177	0.020	0.197d

表3 施氮水平对不同种植制度下玉米籽粒氮来源的影响
Table 3 Effects of N application rate on grain N origin of maize under different cropping systems ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	春玉米 Spring-sown maize		夏玉米 Summer-sown maize		全年 Whole year	
	TP	AF	TP	AF	TP	AF
	N_0	103.4	41.1d	82.7b	52.0d	186.1b
N_1	88.3b	66.9c	113.2a	24.8e	201.5a	91.7d
N_2	82.3c	138.2b	60.9c	126.2b	143.2c	264.4a
M_1	91.0b	140.2b			91.0d	140.2c
M_2	58.5d	188.1a			58.5e	188.1b
M_1			87.2b	81.3c	87.2d	81.3d
M_2			-24.3d	196.5a	-24.3f	196.5b
INE_{1-0}	-0.081b	0.137c	0.163a	-0.145c	0.082a	-0.008d
INE_{2-1}	-0.032a	0.380a	-0.279b	0.541b	-0.311c	0.921a
MNE_{2-1}	-0.173b	0.255b			-0.173b	0.255c
MNE_{2-1}			-0.595c	0.614a	-0.595d	0.614b

TP: 花前植株向籽粒转移的氮量 Grain nitrogen transported form accumulation pre-anthesis; AF: 籽粒花后吸氮量 Grain nitrogen assimilation after anthesis.

3.4 施氮水平对不同种植制度下玉米籽粒蛋白质含量及产量的影响

单作和套作条件下,随着施氮量的增加,春玉米籽粒蛋白质含量和产量均显著增加(表4)。相同氮水平下,单作的籽粒蛋白质含量和产量均显著高于套作。增施氮肥对籽粒蛋白质产量的增加效应为 $INE_{2-1} > INE_{1-0}$, $INE_{2-1} > MNE_{2-1}$ 。套作条件下,在 N_1 的基础上每增加 1 kg 氮,春玉米籽粒蛋白质产量增加 2.086 kg。

表4 施氮水平对不同种植制度下玉米籽粒蛋白质含量及产量的影响
Table 4 Effects of N application rate on grain protein content and yield of maize under different cropping systems

处理 Treatment	春玉米 Spring-sown maize		夏玉米 Summer-sown maize		全年 Whole year	
	PC(%)	PY	PC(%)	PY	PC(%)	PY
	N_0	11.77c	867.3d	9.16c	808.7c	10.47d
N_1	12.48b	931.4c	10.21b	828.0c	11.34c	1759.4b
N_2	13.52a	1322.6b	11.41a	1122.6a	12.46b	2445.2a
M_1	13.62a	1387.0b			13.62a	1387.0e
M_2	13.80a	1479.3a			13.80a	1479.3d
M_1			9.07c	1011.2b	9.07e	1011.2f
M_2			10.43b	1033.3b	10.43d	1033.3f
INE_{1-0}	0.004b	0.342c	0.006b	0.103b	0.005c	0.445c
INE_{2-1}	0.006a	2.086a	0.006b	1.571a	0.006b	3.658a
MNE_{2-1}	0.001c	0.492b			0.001d	0.492b
MNE_{2-1}			0.007a	0.118b	0.007a	0.118d

PC: 玉米籽粒蛋白质含量 Protein content of maize grain; PY: 籽粒蛋白质产量 Protein yield of maize grain ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。)

夏玉米籽粒蛋白质含量和产量的变化趋势与春玉米基本一致,但单作夏玉米的籽粒蛋白质含量显著低于套作,而产量却显著高于套作(表4)。套作条件下,在 N_1 的基础上每增加 1 kg 氮,夏玉米籽粒蛋白质产量增加 1.571 kg。

从全年看,单作和套作条件下,增施氮肥均显著提高了籽粒的蛋白质含量和产量(表4)。相同氮水平下,套作全年平均籽粒蛋白质含量低于单作春玉

米,而高于单作夏玉米;套作的全年玉米籽粒蛋白质产量显著高于单作。施氮量由 $187.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增至 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,春、夏玉米单作时蛋白质产量平均增加 $0.305 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, 而套作时则平均增加 $1.829 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}$, 套作条件下的蛋白质产量的增幅显著高于单作。

4 讨 论

研究结果表明,随施氮量增加,单作和套作条件下,春、夏玉米吸氮量显著增加,籽粒产量、生物产量和籽粒蛋白质产量也显著增加。套作条件下,春、夏玉米地上部吸收的总氮量显著低于单作春玉米与单作夏玉米之和,即春夏玉米套作复合群体中存在营养竞争。与单作相比,春夏玉米套作体系中,两种作物的吸氮量均显著降低。但在小麦玉米间套作体系中,小麦吸氮量高于相同施氮量的单作小麦^[4,7],而玉米的吸氮量低于单作玉米^[17],其原因在于小麦玉米间套作存在营养竞争,也存在营养异质效应,小麦处于较高生态位,对氮的吸收利用高于单作。曹鸿鸣等^[1]研究了麦棉套作条件下氮的吸收与利用,结果表明,小麦对肥料氮的吸收和利用率明显提高,且所吸收的氮较多地分配到籽粒中;而棉花所吸收的氮量和肥料氮的利用率均比单作低,收获期有较多的氮滞留于营养器官和铃壳中。而本研究结果表明,不同种植制度下,各施氮水平玉米籽粒吸氮量均显著高于秸秆,籽粒是主要的氮汇,低氮时,籽粒中的氮主要来源于花前吸收的氮向籽粒中的转移,而高氮时,则更多地来源于籽粒花后对氮的吸收。在春夏玉米套作体系中,尽管春、夏玉米因生长时期差异可以互补用氮,但由于需求的养分种类与形态一致,低氮时竞争较激烈,春玉米竞争力强于夏玉米,但其吸收氮量仍显著低于单作。

施氮水平相同时,套作条件下单位氮对玉米氮吸收、产量和品质的增加效应更显著。这是因为间套作条件下不同作物对氮的吸收和利用存在竞争,特别是禾本科作物的间套作这种竞争作用会更强,施氮量的增加可以缓和复合群体的竞争,从而显著地提高间套作复合群体的产量和品质^[2,3,10,19]。合理的施氮水平在显著提高作物套作条件下全年产量和品质的同时,也可显著提高氮利用率,减轻对环境的影响^[11,18,20]。

参考文献

- 1 Cao H-M (曹鸿鸣), He M-R (贺明荣), Wang M-Y (王明友),

- et al.* 1996. Study on utilization by wheat and cotton under the inter-planting condition. *Acta Agric Nucl Sin* (核农学报), **10**(2): 104 ~ 108 (in Chinese)
- 2 Ghaley BB, Hauggaard-Nielsen H, Jensen HH, *et al.* 2005. Inter-cropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization. *Nutr Cycl Agroecosyst*, **73**: 201 ~ 212
 - 3 Hauggaard-Nielsen H, Ambusa P, Jensen ES. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley inter-cropping. *Field Crop Res*, **70**: 101 ~ 109
 - 4 He C-G (何承刚), Huang G-B (黄高宝), Jiang H (姜华). 2003. Effect of nitrogen nutrition on nitrogen absorption, assimilation and protein content of intercropped and monocropped wheat. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), **34**(6): 529 ~ 532 (in Chinese)
 - 5 Huang S-W (黄绍文), Sun G-F (孙桂芳), Jin J-Y (金继运), *et al.* 2004. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain yield and qualities of high-oil and high-starch corn. *Plant Nutr Fertil Sci* (植物营养与肥料学报), **10**(3): 225 ~ 230 (in Chinese)
 - 6 Jin J-Y (金继运), He P (何萍), Liu H-L (刘海龙), *et al.* 2004. Comparison of nitrogen absorption, yield and quality between high-starch and common corn as affected by nitrogen application. *Plant Nutr Fertil Sci* (植物营养与肥料学报), **10**(6): 568 ~ 573 (in Chinese)
 - 7 Jin S-L (金绍龄), Li L (李隆), Zhang L-H (张丽慧), *et al.* 1996. N nutrition characteristics of component crops on wheat/maize strip intercropping. *Acta Univ Agric Boreali-Occid* (西北农业大学学报), **24**(5): 35 ~ 41 (in Chinese)
 - 8 Kou C-L (寇长林), Ju X-T (巨晓棠), Zhang F-S (张福锁). 2005. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(4): 660 ~ 667 (in Chinese)
 - 9 Liu X-J (刘学军), Ju X-T (巨晓棠), Zhang F-S (张福锁). 2004. Effect of reduced N application on N utilization and balance in winter wheat-summer maize cropping system. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(3): 458 ~ 462 (in Chinese)
 - 10 Ning T-Y (宁堂原), Li Z-J (李增嘉), Jiao N-Y (焦念元), *et al.* 2004. Effects of different maturity maize cultivars relay-cropping in spring-sown and summer-sown on the nutritive values of whole plant for feeding. *Acta Agron Sin* (作物学报), **30**(5): 443 ~ 448 (in Chinese)
 - 11 Ning T-Y (宁堂原), Li Z-J (李增嘉), Jiao N-Y (焦念元), *et al.* 2005. High yield, high quality and high benefit of spring-sown maize & summer-maize inter-planting and the cultivation technique. *Maize Sci* (玉米科学), **13**(4): 99 ~ 101 (in Chinese)
 - 12 Oikeh SO, Kling JG, Okoruwa AE. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the west Africa moist savanna. *Crop Sci*, **38**: 1056 ~ 1061
 - 13 Pearson CJ, Jacobs BC. 1987. Yield components and nitrogen partitioning of maize in response to nitrogen before and after anthesis. *Aust J Agric Res*, **38**: 1001 ~ 1009
 - 14 Song H-X (宋海星), Li S-X (李生秀). 2003. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and N supply conditions. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **36**(1): 71 ~ 76 (in Chinese)
 - 15 Wang L-X (王立祥), Wang M-J (王明洁), Li J (李军). 2005. Brief discussion of grain production and measures for food security in China. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), **23**(4): 1 ~ 6 (in Chinese)
 - 16 Wang M-Y (王美云), Zhao M (赵明), Li L-L (李连禄), *et al.* 2000. The studies on crop super-high yield in China and explorations for double-season maize in Beijing area. *Rev Chin Agric Sci Tech* (中国农业科技导报), **2**(3): 47 ~ 48 (in Chinese)
 - 17 Xiao C-H (肖春华), Li S-K (李少昆), Liu J-D (刘景德), *et al.* 2005. Study on the dynamics of dry matter and nutrient accumulation in maize under various planting systems. *Soil Fertil* (土壤肥料), (2): 10 ~ 13 (in Chinese)
 - 18 Ye Y-L (叶优良), Bao X-G (包兴国), Song J-L (宋建兰), *et al.* 2004. Effect of long-term fertilizer application non yield, nitrogen uptake and soil NO₃⁻-N accumulation in wheat/maize inter-cropping. *Plant Nutr Fertil Sci* (植物营养与肥料学报), **10**(2): 113 ~ 119 (in Chinese)
 - 19 Zhang FS, Li L. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil*, **248**: 305 ~ 312
 - 20 Zhang X-M (张新明), Wu W-L (吴文良), Li J (李季), *et al.* 1999. Rational N regulation in wheat/corn high-yield farm ecosystem — Taking winter wheat-summer corn system in Hengtai County of Shandong Province as an example. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(3): 297 ~ 300 (in Chinese)

作者简介 宁堂原,男,1976年生,博士,副教授.主要从事农业资源利用、农业生态学及高产优质高效种植制度等研究,已发表论文20余篇. E-mail: ningty@sdau.edu.cn

责任编辑 张凤丽
