植物营养与肥料学报 2013,19(4):781-789
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi:10.11674/zwyf.2013.0402

玉米/大豆套作下作物叶片氮、磷动态特征及其相关性分析

杨 峰,黄 山,崔 亮,王小春,雍太文,刘卫国,杨文钰*
(四川农业大学农学院,农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室,四川成都 611130)

摘要:在田间小区试验条件下,以登海605(紧凑型)、川单418(半紧凑型)、雅玉13(松散型)3个玉米品种,贡选1和桂夏3两个大豆品种为试验材料,采用玉米/大豆套作种植模式,在仁寿和雅安试验点研究玉米拔节期、大喇叭口期、子粒建成期和成熟期以及大豆苗期、始花期和鼓粒期叶片氮、磷养分动态规律,分析玉米和大豆叶片氮磷含量之间的相关性。结果表明,两大豆品种无论是净作还是套种,叶片氮含量在苗期最低,磷含量在苗期最高;大豆与雅玉13套作比净作其叶片氮和磷含量分别高出5.81%和38.56%以上,而套作大豆叶片氮磷比值却低于净作,仁寿试验点高于雅安试验点,始花期之后净、套作大豆叶片氮磷含量及其比值变化规律不明显。三种株型玉米叶片磷含量随生育期呈现低—高—低的规律,其中松散型玉米品种雅玉13叶片磷含量最高;而叶片氮含量在子粒建成期之前变化幅度较小,成熟期达到最低。同样,玉米氮磷比值仁寿试验点高于雅安试验点。通过叶片氮和磷含量及其比值间的相关性分析,玉米和大豆叶片氮、磷含量与其之间的比例相关性达到显著水平($r>0.46$, $P<0.05$),特别是叶片磷含量与氮、磷比之间的相关性极显著($P<0.01$)。

关键词:玉米;大豆;氮、磷养分;套作种植
中图分类号:S51.01;S344.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-505X(2013)04-0781-09

Dynamic changes and correlations of P and N concentrations in crop leaves under relay intercropping system of maize and soybean

YANG Feng, HUANG Shan, CUI Liang, WANG Xiao-chun, YONG Tai-wen, LIU Wei-guo, YANG Wen-yu*
(*College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the dynamic changes of leaf N concentration and P concentration of maize and soybean at different growth stages, and analyze their relations in the typical maize/soybean relay strip intercropping system and the soybean monoculture. The soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars, Gongxuan1 and Guixia3, and the maize (*Zea mays* L.) cultivars, Denghai 605, Chuandan 418 and Yayu13, were selected in this study. The N concentrations of leaves of two soybean cultivars at the V3 stage are lowest, while the concentrations are highest compared with those of other stages. The leaf N and P concentrations of the soybean intercropping with Yayu13 are 5.81% and 38.56% higher than those of the soybean monoculture. At the same time, the N:P ratio of the relay intercropped soybean leaves is lower than that of the monoculture. After the R1 stage, these characteristics are not appeared. For maize, the change trend of leaf P concentration is a low-high-low mode through the growth stage, and the leaf N concentration is lowest at the R6 stage. In addition, the N:P ratios of maize and soybean leaves in Renshou are higher than those in Ya'an. The correlation between the N and P concentration of leaves of maize and soybean is significant ($r>0.46$, $P<0.05$), especially the P

收稿日期:2012-11-26 **接受日期**:2013-02-28
基金项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB100402);农业部公益性行业科研专项资金项目(201103001);四川省博士后基金(04310624)资助。
作者简介:杨峰(1981—),男,山西晋城人,博士,讲师,主要从事作物生理生态及3S应用研究。E-mail:f.yang@sicau.edu.cn
* 通信作者 Tel:0835-2882004,E-mail:wenyu.yang@163.net

concentration and the N∶P ratio ($P<0.01$).

Key words: maize; soybean; nitrogen and phosphorus; relay intercropping

在全球耕地面积不断减少,农产品需求刚性增长的趋势下,利用生物多样性原理进行间套作栽培是提高土地利用率、增加粮食播种面积和产量的关键[1-3]。间作套种作为我国传统农业的精华,不仅能够提高耕地复种指数,增加粮食产量,而且有效缓解了农业高产高投入、养分利用率低、环境污染等问题,在现代农业发展中起着重要的作用[4]。

在间套作生产中,群体配置的合理性直接影响作物生长发育过程及资源利用水平。作物生态位的差异性和冠层空间的不均匀性,导致群体微环境发生变化[5-6],作物外部形态和内部生理生化特征做出响应[7],营养元素的吸收、分配及利用改变,作物生长发育及产量形成过程受到影响[8-11]。那么,在不同的群体配置下,作物叶片营养元素动态及其比值特征规律如何,是否存在一定的相关性?这一问题的解决将为研究作物养分吸收利用状况对间、套作复合群体微环境变化的响应提供理论基础。生态化学计量学综合生物学、化学和物理学的基本原理,利用多重化学元素的平衡关系,为研究营养元素之间的耦合关系提供了一种综合方法[12]。

氮、磷作为重要的营养元素,在植物体中相互影响、相互制约,存在着可计量的平衡关系[13]。在正常的生长环境条件下,植物叶片氮磷比值相对恒定,但外界的光环境、温度变化等因素对氮、磷含量及氮磷比值均产生影响[14]。氮磷比值可以作为判断外界环境对植物生长状况的重要指标[15]。当光强存在差异时,植物生长快慢与氮、磷含量及其比例关系均发生相应改变[16]。植物生长速率随叶片 N∶P 比率的降低而增加[17],Reich 和 Oleksyn 在研究植被氮、磷含量和温度的关系时发现,随着环境温度的增加叶片氮、磷含量下降,氮磷比增加,这与植物的生理过程密切相关[18]。那么,在套作种植模式下,不同株型作物在共生前后光环境发生变化,叶片氮、磷含量有何规律?叶片氮、磷含量及其比例之间是否存在相关性?围绕这些问题,本研究在玉米/大豆套作种植模式下,分析玉米和大豆在共生前后关键生育时期叶片氮、磷含量及其比值的动态规律,探明玉米和大豆叶片氮、磷及其比例之间的关系,为制定合理的玉米/大豆套作栽培参数及养分管理措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于2011年在四川仁寿县珠嘉乡四川现代粮食生产示范基地和四川农业大学雅安农场进行。试验地土壤肥力状况及试验期间气象资料分别见表1和表2。玉米选用登海605(紧凑型),川单418(半紧凑型),雅玉13(松散型)3个品种;大豆选用贡选1号和桂夏3两个品种。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,玉米品种为主区,大豆品种为副区,采用套作种植模式。玉米于3月底采用宽窄行模式种植,窄行50 cm,宽行150 cm,株距20 cm,7月底收获;大豆于6月上旬播玉米宽行内(此时玉米处于喇叭口期),种植2行,行距为50 cm,窝距20 cm,每窝2株,10月底收获。净作大豆行距50 cm,窝距20 cm,每窝2株;大豆净作和套作的播种时间一致。小区面积24 m^2,每处理重复3次。玉米底肥穴施尿素330 kg/hm^2、过磷酸钙750 kg/hm^2和氯化钾150 kg/hm^2,在大喇叭口期追施尿素330 kg/hm^2;大豆底肥施尿素65 kg/hm^2、过磷酸钙420 kg/hm^2、氯化钾70 kg/hm^2。其他按照常规进行管理。

表1 试验地肥力情况

Table 1 Fertility status of experimental locations

试验点 Location	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH
仁寿 Renshou	12.5	0.56	0.35	7.08	40.8	9.6	113.7	6.99
雅安 Ya'an	29.8	0.34	0.55	5.23	64.2	17.8	104.5	7.10

表 2　试验地分布及气象资料

Table 2　Distribution and meteorological condition of experimental locations

试验点 Location	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)	日均温度 Temp. (℃)	积温 Accum. temp. (℃)	降水量 Rainfall (mm)	日照时数 Sunshine hour (h)
仁寿 Renshou	104°18′	30°07′	395	24.4	3645.7	446.0	686.7
雅安 Ya'an	102°98′	29°98′	595	23.1	3813.3	1023.8	644.1

1.3　测定项目与方法

1.3.1 光环境测定　采用美国 Li-Cor 公司的 Li-190SA 光量子传感器(点状)观测玉米冠层上方入射光合有效辐射,用 Li-191SA 光量子传感器观测套作大豆冠层光合有效辐射,使用 Li-1400 数据采集器记录数据。在玉米和大豆共生期间(大豆处于 V3 期),在晴朗无风的中午 12 点测定不同株型玉米下大豆冠层上方 5 cm,10 cm,15 cm,20 cm,30 cm,40 cm,50 cm,60 cm,70 cm,80 cm,90 cm,100 cm,110 cm 处的光合有效辐射,重复观测 5 次。根据入射光和透射光数值计算获得透光率。

1.3.2 取样　在玉米拔节期(V6)、喇叭口期(V12)、子粒建成期(R2)及成熟期(R6)每个处理连续取 3 株玉米叶片;在大豆苗期(V3)、始花期(R1)及鼓粒期(R6)每个处理连续取 5 株大豆。分别将玉米和大豆所有叶片于 105℃ 杀青 30 min,80℃烘干后粉碎备用。

1.3.3 氮、磷含量的测定　采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 法对样品进行消煮,利用 Futura 多通道连续流动分析仪进行测定。

1.4　数据处理与分析

试验数据采用 Excel 软件进行处理,利用 SAS 软件进行方差和相关性分析,用 Origin8.0 软件制图。

2　结果与分析

2.1　玉米/大豆套作群体共生期光环境变化

仁寿试验点贡选 1 号大豆与不同株型玉米套作其冠层光环境变化见图 1。不同株型玉米下套作大豆的苗期(V3)冠层透光率随高度的增加总体呈现上升趋势,但登海 605 玉米品种下套作大豆冠层上方 5～80 cm 高度范围内透光率比川单 418 和雅玉 13 下的套作大豆高 20% 以上。而川单 418 和雅玉 13 玉米下套作大豆冠层 60 cm 以下透光率增长缓慢,随高度增加其透光率迅速增加。不同株型玉米品种下大豆冠层 110 cm 以上透光率基本一致,达到 90% 以上。因此,在套作条件下玉米和大豆共生期间光照强度对大豆整个冠层叶片的影响较大,而玉米生长发育中后期的叶片部分会受到影响。

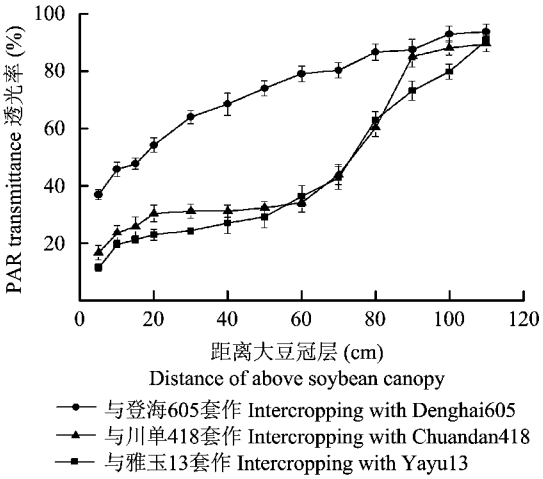

图 1　不同株型玉米下套作大豆苗期(V3)冠层透光率变化规律

Fig. 1　PAR transmittance of above the canopy of soybean intercropping with different plant type of maize

2.2　大豆叶片氮、磷含量特征

由表 3 可以看出,大豆无论是净作还是套作叶片氮含量在苗期(V3)最低,而叶片磷含量最高。其中松散型玉米品种雅玉 13 下的套作大豆比净作大豆叶片氮、磷含量分别高 5.8% 和 38.56% 以上,而紧凑型和半紧凑型玉米品种套作下的大豆叶片氮、磷含量与净作相比在仁寿试验点的规律不明显,但在雅安试验点套作显著高于净作。这种规律到始花期(R1)和鼓粒期(R6)不明显,可能由于在 V3 期玉米和大豆处于共生,不同株型玉米对大豆的荫蔽程度不同,而玉米收获后套作大豆的外界环境条件与净作一致,迅速进入恢复性生长。雅安试验点大豆叶片氮、磷含量明显高于仁寿试验点,可能与气候条件有关。

表3 大豆不同生育时期叶片氮、磷含量(mg/g)

Table 3 Changes of leaf N and P concentrations at different growth stages of soybean under monoculture and relay intercropping conditions

品种 Cultivar		养分 Nutr.	仁寿 Renshou			雅安 Ya'an		
			V3	R1	R6	V3	R1	R6
贡选1 Gongxuan 1	D	N	26.56±2.84 b	32.02±1.96 a	34.00±2.58 a	26.39±2.67 b	45.91±2.94 a	41.13±3.44 a
		P	1.99±0.21 a	1.22±0.33 b	0.85±0.24 b	2.49±0.24 a	1.53±0.64 a	1.61±0.72 a
	C	N	27.01±2.57 b	35.08±1.83 a	33.54±2.54 a	31.67±1.99 b	47.29±2.12 a	39.06±3.92 b
		P	1.89±0.20 a	1.11±0.25 b	0.71±0.23 b	3.87±0.37 a	3.72±0.83 a	1.39±0.36 b
	Y	N	29.29±2.01 a	29.63±1.46 a	34.17±1.78 a	26.14±2.98 b	45.88±3.66 a	45.73±4.17 a
		P	2.30±0.16 a	1.39±0.22 b	0.54±0.17 c	3.80±0.42 a	3.27±0.23 a	1.61±0.25 b
	CK	N	27.69±1.27 b	36.83±1.11 a	31.50±1.23 b	20.25±2.02 b	46.67±3.09 a	49.07±2.08 a
		P	1.66±0.034 a	1.31±0.064 b	0.32±0.084 c	2.43±0.17 a	2.14±0.56 a	2.20±0.69 a
桂夏3 Guixia 3	D	N	25.26±1.73 b	31.72±1.68 a	27.81±1.23 b	25.25±2.61 c	52.13±3.14 a	44.34±1.72 b
		P	1.94±0.15 a	0.90±0.18 b	1.58±0.20 a	3.60±0.46 a	1.81±0.59 b	1.81±0.52 b
	C	N	23.53±1.60 c	31.12±2.32 a	27.73±0.10 b	28.84±1.53 b	45.45±0.88 a	43.44±2.87 a
		P	2.55±0.23 a	0.78±0.32 b	1.41±0.29 b	4.55±0.40 a	2.61±0.74 b	1.84±0.81 b
	Y	N	27.40±2.68 a	30.83±1.37 a	28.60±1.48 a	35.73±4.47 a	44.36±4.44 a	45.73±4.17 a
		P	2.65±0.20 a	1.36±0.33 b	1.41±0.29 b	4.96±0.42 a	2.52±0.48 b	1.61±0.25 c
	CK	N	25.75±1.63 a	29.43±1.42 a	28.59±2.01 a	23.25±3.74 c	54.70±0.93 a	44.17±2.73 b
		P	1.89±0.16 a	0.96±0.034 b	1.27±0.21 b	2.86±0.23 a	2.10±0.41 a	2.02±0.38 a

注(Note): D—登海605 Denghai 605; C—川单418 Chuandan 418; Y—雅玉13 Yayu 13; CK—净作大豆 Monoculture soybean. V3—苗期 Seedling stage; R1—始花期 Beginning bloom stage; R6—鼓粒期 Full seed stage. 同列数据后不同小写字母表示不同处理同一养分在5%水平差异显著 Values followed by different lowercase letters in a column are significant among treatment and in same nutrient at the 5% level.

2.3 玉米叶片氮、磷含量特征

由表4可知,登海605,川单418和雅玉13玉米品种在子粒建成期(R2)之前,叶片氮含量变化幅度较小,之后迅速下降,完熟期(R6)时到达最低,最低值为11.37 mg/g。而叶片磷含量随生育期呈现"低—高—低"的变化规律,在R2时期达到最大值。雅安试验点的玉米叶片氮、磷含量在拔节期(V6),大喇叭口期(V12)和子粒建成期(R2)期均高于仁寿,而在完熟期(R6)时两地点差异不大。

2.4 玉米和大豆叶片氮磷比的特征

氮磷比值作为判断外界环境对植物生长状况的重要指标,本文为了比较净作和套作、不同试验点、不同作物叶片氮磷比值的动态,将不同株型玉米下套作的大豆氮磷比值进行平均后进行分析可知(表5,表6),大豆氮磷比值在净作和套作条件下随着生育时期的变化逐渐增大,其中在玉米和大豆共生期间(苗期,V3)净作大豆氮磷比高于套作大豆,而在始花期(R1)和鼓粒期(R6)规律不明显,可能共生期间与玉米对大豆的荫蔽作用以及不同大豆品种对氮、磷养分的吸收利用有关。在同一试验点,不同株型玉米的氮磷比值在其主要生育期(V6,V12,R2及R6)均差异明显,这反映了不同玉米品种在不同的生育时期对氮、磷的吸收利用存在差异。两个试验点进行比较,玉米和大豆的氮磷比值均为仁寿高于雅安。

2.5 玉米和大豆叶片氮、磷含量间的相关性

不同种植方式、不同品种、不同试验点的玉米和大豆叶片中氮、磷含量均不相同。由图2可以看出,玉米叶片氮、磷含量及其比例之间的相关性均达到显著水平($P<0.05$),而大豆叶片氮、磷含量及其比例之间的相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。在两作物叶片氮、磷含量及其比例的相关性分析中,叶片磷与氮磷比相关性最好($P<0.01$)。由此说明两种作物在生长过程中叶片的氮磷比值的变化对磷的依存度较大。

表 4　玉米不同生育时期叶片氮、磷含量(mg/g)

Table 4　Changes of leaf N and P concentrations in different growth stages of maize

试验点 Location	品种 Cultivar	养分 Nutrient	生育时期 Growth stages			
			V6	V12	R2	R6
仁寿 Renshou	登海 605 Denghai 605	N	25.47 ±2.32 a	24.88 ±1.7 a	26.37 ±1.81 a	13.27 ±2.25 b
		P	0.98 ±0.089 b	0.97 ±0.23 b	2.20 ±0.32 a	0.62 ±0.068 b
	川单 418 Chuandan 418	N	24.53 ±2.55 a	24.47 ±2.21 a	25.74 ±0.82 a	11.37 ±1.01 b
		P	1.68 ±0.33 ab	1.11 ±0.29 b	2.11 ±0.26 a	0.62 ±0.036 c
	雅玉 13 Yayu 13	N	26.64 ±2.20 a	24.30 ±1.50 a	22.24 ±0.67 a	13.55 ±1.25 b
		P	1.13 ±0.045 c	2.18 ±0.20 b	3.36 ±0.25 a	0.99 ±0.19 c
雅安 Ya'an	登海 605 Denghai 605	N	31.97 ±2.09 a	27.31 ±1.23 a	29.68 ±1.32 a	12.24 ±2.07 b
		P	2.72 ±0.13 a	2.01 ±0.10 c	2.96 ±0.21 a	0.71 ±0.025 d
	川单 418 Chuandan 418	N	34.16 ±2.33 a	26.02 ±2.30 b	29.85 ±1.26 b	13.18 ±1.04 c
		P	2.99 ±0.55 a	2.98 ±0.21 a	3.11 ±0.12 a	0.43 ±0.035 b
	雅玉 13 Yayu 13	N	29.77 ±2.05 a	26.93 ±2.20 a	31.55 ±1.25 a	15.82 ±1.19 b
		P	2.19 ±0.025 b	2.43 ±0.20 b	3.13 ±0.18 a	0.85 ±0.15 c

注(Note)：V6—拔节期 Jointing stage；V12—大喇叭口期 Huge bellbottom stage；R2—子粒建成期 Blister stage；R6—完熟期 Physiological maturity. 同列数据后不同小写字母表示不同品种同一养分在 5% 水平差异显著 Values followed by different lowercase letters in a column are significant among cultivar and in same nutrient at the 5% level.

表 5　净套作大豆不同生育时期叶片氮磷比平均值

Table 5　N∶P ratios of soybean leaves at different growth stages in relay intercropping and monoculture conditions

试验点 Location	品种 Cultivar	处理 Treatment	生育时期 Growth stages		
			V3	R1	R6
仁寿 Renshou	贡选 1 Gongxuan 1	套作 Relay intercropping	13.46	26.39	50.17
		净作 Monoculture	16.68	28.12	98.44
	桂夏 3 Guixia 3	套作 Relay intercropping	11.62	32.60	19.18
		净作 Monoculture	12.94	24.80	22.51
雅安 Ya'an	贡选 1 Gongxuan 1	套作 Relay intercropping	8.56	18.92	27.35
		净作 Monoculture	8.61	21.81	22.30
	桂夏 3 Guixia 3	套作 Relay intercropping	6.85	21.27	25.50
		净作 Monoculture	8.13	26.05	21.87

注(Note)：V3—苗期 Seedling stage；R1—始花期 Beginning bloom stage；R6—鼓粒期 Full seed stage

2.6　玉米和大豆产量

由表 7 可以看出,3 种不同株型的玉米产量由高到低分别为雅玉 13,川单 418 和登海 605,其中雅玉 13 的产量在仁寿和雅安两个试验点分别达到 7775.4 kg/hm^2 和 7418.3 kg/hm^2,比登海 605 产量高 16% 和 20% 以上。对于大豆品种,在净、套作条件下贡选 1 号产量高于桂夏 3 号,而两个大豆品种在净作条件下产量显著高于其与雅玉 13 和川单 418 玉米套作下的产量($P<0.05$),与登海 605 套作下大豆产量相比差异不显著。对仁寿和雅安试验点的产量进行比较,仁寿试验点的玉米和大豆产量均高于雅安。

表6 玉米不同生育时期氮磷比平均值

Table 6 N:P ratios of maize leaves in different growth stages

试验点 Location	品种 Cultivar	生育时期 Growth stages			
		V6	V12	R2	R6
仁寿 Renshou	登海605 Denghai 605	25.99	25.65	11.99	21.40
	川单418 Chuandan 418	14.60	22.05	12.20	18.34
	雅玉13 Yayu 13	23.56	11.15	6.62	13.69
雅安 Ya'an	登海605 Denghai 605	11.75	13.59	10.03	17.24
	川单418 Chuandan 418	11.42	8.73	9.60	30.65
	雅玉13 Yayu 13	13.59	11.08	10.08	18.61

注(Note): V6—拔节期 Jointing stage; V12—大喇叭口期 Huge bellbottom stage; R2—子粒建成期 Blister stage; R6—完熟期 Physiological maturity.

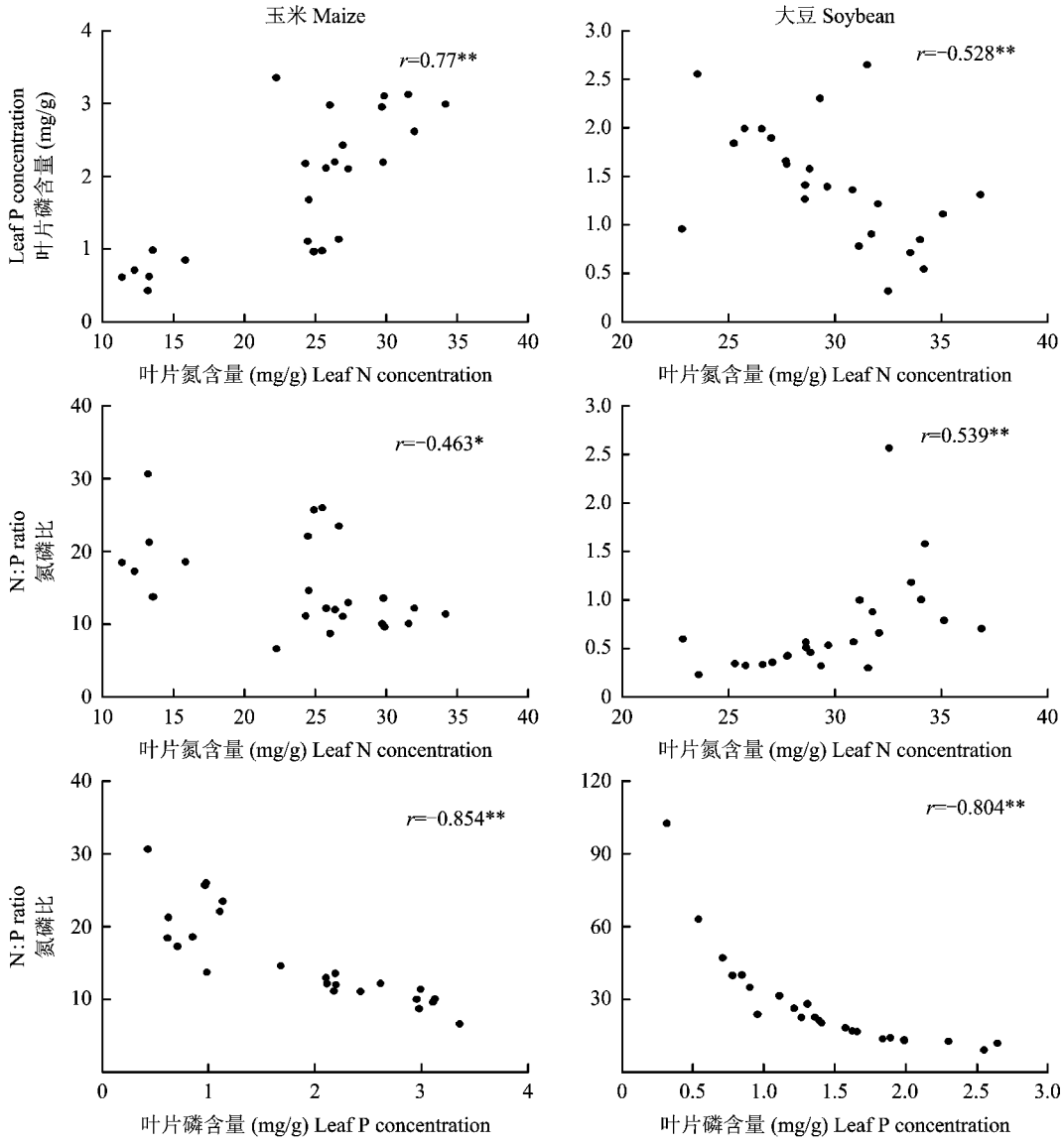

图2 玉米和大豆单位叶片氮磷之间的相关性

Fig. 2 Relationship between leaf N and P concentrations in the whole growth periods of maize (n=24) and soybean (n=24)

[注(Note): *, ** 分别表示在5%和1%水平显著 Mean significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.]

表 7　不同种植模式下玉米和大豆产量(kg/hm²)

Table 7　Yields of maize and soybean in different planting pattern

种植模式 Planting pattern	玉米品种 Maize cultivar	大豆品种 Soybean cultivar	仁寿 Renshou		雅安 Ya'an	
			玉米产量 Maize yield	大豆产量 Soybean yield	玉米产量 Maize yield	大豆产量 Soybean yield
套作 Relay intercropping	雅玉 13 Yayu 13	桂夏 3 Guixia 3	7775.4 ±355.1 a	1222.4 ±205.4 e	7418.3 ±258.2 a	1143.0 ±177.6 e
		贡选 1 Gongxuan 1		1618.9 ±208.4 dce		1376.1 ±180.2 de
	川单 418 Chuandan418	桂夏 3 Guixia 3	7668.0 ±243.45 a	1486.2 ±245.6 de	7370.3 ±350.7 a	1246.1 ±212.6 e
		贡选 1 Gongxuan 1		1733.6 ±273.8 cd		1504.8 ±218.4 cde
	登海 605 Denghai 605	桂夏 3 Guixia 3	6651.2 ±290.6 b	1966.5 ±229.9 bc	6152.9 ±236.7 b	1660.7 ±202.1 bcd
		贡选 1 Gongxuan 1		2310.6 ±208.1 ab		1977.2 ±170.9 ab
净作 Monoculture		桂夏 3 Guixia 3		2212.4 ±223.8 ab		1851.3 ±234.2 abc
		贡选 1 Gongxuan 1		2537.6 ±306.8 a		2089.9 ±188.9 a

注(Note): 同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 5% 水平差异显著 Values followed by different lowercase letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

3　讨论

作物叶片的氮、磷养分含量不仅取决于土壤养分的供应状况,而且与叶片生长的需求状况密切相关。在玉米/大豆套作的种植模式下,由于玉米对大豆前期遮阴程度不同,大豆生长发育受影响程度不一致,导致对氮、磷养分的吸收利用不同[8]。刘增禹等[19]的研究结果表明,不同玉米株型对套作大豆氮素积累影响较大,随玉米株型的变化(从紧凑型到松散型)而减小,紧凑型玉米下的套作大豆氮素积累量最高。在本研究中,不同株型玉米下套作大豆冠层透光率差异较大,紧凑型玉米登海 605 下大豆冠层透光率最大,比半紧凑型品种川单 418 和松散型品种雅玉 13 高 20% 以上(图 1),在玉米大豆共生期间(大豆苗期,V3)大豆叶片氮含量较低,而磷含量最高,套作条件下大豆叶片氮、磷含量均高于净作条件,特别是与松散型玉米品种雅玉 13 套作的大豆,而在始花期(R1)之后大豆叶片的氮、磷含量规律不明显,与先前研究中的氮营养的结果一致[19]。主要原因可能与玉米荫蔽对大豆前期生长发育的影响密切相关[20]。先前的报道也证实了套作条件下光环境与净作相比明显改变,对大豆的生长发育产生了一定影响[21]。同时,Hessen 等[22]报道不同的光环境对植物氮、磷的吸收分配影响较大。

在玉米/大豆套作种植中,不同株型玉米在套作条件下其叶片磷含量随生育期呈现低—高—低的趋势,最大值出现在子粒建成期(R2),而叶片氮含量随着生育时期的推进呈下降趋势,在完熟期(R6)达到最低。该研究结果与前人报道在净作条件下单株玉米叶片氮、磷含量从大喇叭口到完熟期(从 V6 到 R6)出现低—高—低的趋势一致[23]。说明玉米属于高秆作物,在玉米/大豆套作模式中光环境对其影响较小。

氮磷比值作为判断外界环境对植物生长状况的重要指标[14-15],在本研究中,玉米和大豆套作共生期间大豆叶片的氮磷比值低于净作大豆,共生期之后这种规律不明显,可能与大豆所处的光环境变化有关。Dickman 等[16]研究报道在改变浮游植物光环境时,植物生长快慢与氮、磷含量及其比例均发生变化。本研究中不同株型玉米叶片氮磷比值在各生育时期变化规律不一致。

通过对玉米/大豆套作种植中玉米和大豆叶片氮、磷含量及其比值间进行相关性分析,发现玉米和大豆关键生育时期叶片氮、磷含量及其比例之间的相关性均达到显著水平($P < 0.05$),王小春等在研究玉米/大豆套作下玉米氮、磷吸收利用中也得出相似的结果[24]。Follett 等[25]研究也发现,玉米吐丝期叶片氮、磷含量存在正相关性,叶片磷含量随氮含量的增加而增加。在本研究中叶片磷与氮磷比相关性最好($r > 0.8$, $P < 0.01$),说明两作物氮磷比值的变化主要由磷素决定,与 Güsewell 研究的禾草类植物氮、磷含量及其比值的关系结果一致[15]。

4 结论

1）玉米/大豆套作种植中，大豆与玉米共生期间大豆叶片氮含量最低，磷含量最高，大豆始花期时玉米收获，净、套作大豆生长环境一致，进入迅速恢复生长阶段，净、套作大豆叶片的氮、磷含量变化规律不明显。

2）套作条件下，玉米叶片磷含量随生育期呈现低—高—低的变化规律，而叶片氮含量在子粒建成期之前变化较小，随后迅速下降，在完熟期达到最低，与玉米不同生育时期氮、磷养分的吸收、利用及分配密切相关。

3）大豆和玉米叶片氮、磷含量及其比例之间存在显著的相关性，特别是叶片磷含量与氮磷比相关性极显著。

4）通过对玉米/大豆套作种植中作物叶片的氮、磷养分的动态规律以及氮、磷含量及其与氮磷比之间的相互作用及平衡关系的分析，可为构建合理的作物群体和玉米/大豆套作种植系统中的精准施肥和限制性元素判断的研究提供理论依据。

参 考 文 献：

[1] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H *et al.* Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000, 406: 718-722.

[2] Li L, Li S M, Sun J H *et al.* Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils[J]. PNAS, 2007, 104(27): 11192-11196.

[3] Li C Y, He X H, Zhu S S *et al.* Crop diversity for yield increase [J]. PLoS One, 2009, 4(11): 8049.

[4] 周新安，年海，杨文钰，韩天富. 南方间套作大豆生产发展的现状与对策(I)[J]. 大豆科技，2010，(3)：1-2.
Zhou X A, Nian H, Yang W Y, Han T F. Current situation and countermeasures of intercropping soybean in Southern China (I) [J]. Soyb. Bull., 2010, 3: 1-2.

[5] Jurik T W, Van K. Microenvironment of a corn-soybean-oat strip intercrop system[J]. Field Crop Res., 2004, 90: 335-349.

[6] Gao Y, Duan A W, Qiu X Q *et al.* Distribution and use efficiency of photosynthetically active radiation in strip intercropping of maize and soybean[J]. Agron. J., 2010, 102(4): 1149-1157.

[7] 王竹，杨文钰，吴其林. 玉/豆套作荫蔽对大豆光合特性与产量的影响[J]. 作物学报，2007，33(9)：1502-1507.
Wang Z, Yang W Y, Wu Q L. Effects of shading in maize/soybean relay-cropping system on the photosynthetic characteristics and yield of soybean[J]. Acta Agro. Sin., 2007, 33(9): 1502-1507.

[8] 宋艳霞，杨文钰，李卓玺，等. 套作遮阴对大豆不同品种苗期氮代谢的影响[J]. 中国油料作物学报，2010，32(3)：390-394.
Song Y X, Yang W Y, Li Z X *et al.* Effect of maize-soybean relay cropping shade on nitrogen metabolism of soybean seedlings[J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2010, 32(3): 390-394.

[9] Ghosh P K, Tripathi A K, Bandyopadhyay K K *et al.* Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system[J]. Eur. J. Agron., 2009, 31: 43-50.

[10] 雍太文，杨文钰，王小春，等. 两种三熟套作体系中的氮素吸收利用及种间相互作用[J]. 四川农业大学学报，2009，27(2)：167-172.
Yong T W, Yang W Y, Wang X C *et al.* Nitrogen uptake and utilization and interspecies reciprocity in the two relay-planting systems[J]. J. Sichuan Agric. Univ., 2009, 27(2): 167-172.

[11] 李文学. 小麦/玉米/蚕豆间作系统中氮、磷吸收利用特点及其环境效应[D]. 北京：中国农业大学博士论文，2001.
Li W X. Nitrate accumulation in soil and nutrient acquisition by intercropped wheat, maize and faba bean[D]. Beijing: PhD dissertation of China Agricultural University, 2001.

[12] 贺金生，韩兴国. 生态化学计量学：探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报，2010，34(1)：2-6.
He J S, Han X G. Ecological stoichiometry: Searching for unifying principles from individuals to ecosystems[J]. Chin. J. Plant Ecol., 2010, 34(1): 2-6.

[13] Elser J J, Fagan W F, Denno R F *et al.* Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs[J]. Nature, 2000, 408: 578-580.

[14] 王绍强，于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报，2008，28(8)：3937-3947.
Wang S Q, Yu G R. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements[J]. Acta Ecol. Sin., 28(8): 3937-3947.

[15] Güsewell S. N: P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. New Phytol., 2004, 164(2): 243-266.

[16] Dickman E M, Vanni M J, Horgan M J. Interative effects of light and nutrients on phytoplankton stoichiometry [J]. Oecologia, 2006, 149: 676-689.

[17] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.

[18] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude [J]. PNAS, 2004, 101(30): 11001-11006.

[19] 刘增禹，伍晓燕，杨文钰，等. 玉米株型对套作大豆氮素积累、转运和子粒蛋白产量的影响[J]. 中国油料作物学报，2011，33(6)：574-581.
Liu Z Y, Wu X Y, Yang W Y *et al.* Effect of corn plant type on soybean nitrogen accumulation, translocation and seed protein yield under corn/soybean relay-strip cropping system[J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2011, 33(6): 574-581.

[20] 王竹，杨文钰，吴晓燕，等. 玉米株型和幅宽对套作大豆初花期形态建成及产量的影响[J]. 应用生态学报，2008，19

(2): 323-329.
Wang Z, Yang W Y, Wu X Y *et al*. Effects of maize plant type and planting width on the early morphological characters and yield of relay planted soybean[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(2): 323-329.

[21] 杨峰, 崔亮, 武晓玲, 刘卫国, 杨文钰. 不同空间配置套作大豆后期农学参数及光谱特征分析[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 268-272.
Yang F, Cui L, Wu X L *et al*. Soybean agronomic and hyperspectral characteristics at later stage under spatial patterns of maize-soybean intercropping[J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2012, 34(3): 268-272.

[22] Hessen D O, Leu E, Færøvig P J *et al*. Light and spectral properties as determinants of C∶N∶P-ratios in phytoplankton [J]. Deep-Sea Res. PT Ⅱ, 2008, 55: 2169-2175.

[23] 佟屏亚, 凌碧莹. 夏玉米氮、磷、钾积累和分配态势研究[J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 65-69.
Tong P Y, Ling B Y. Study on accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in summer maize[J]. J. Maize Sci., 1994, 2(2):65-69.

[24] 王小春, 杨文钰, 任万军, 等. 小麦/玉米/大豆和小麦/玉米/甘薯套作体系中玉米产量及养分吸收的差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 803-812.
Wang X C, Yang W Y, Ren W J *et al*. Study on yield and differences of nutrient absorptions of maize in wheat/maize/soybean and wheat/maize/sweet potato relay intercropping systems[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(4): 803-812.

[25] Follett R F, Grunes D L, Reichman G A *et al*. Recovery of corn yield on garden subsoil as related to leaf and soil analysis[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1974, 38: 327-331.