

不同通气方式和秸秆切碎程度对堆制效果和养分转化的影响

李国学

o 中国农业大学生态和环境科学系, 北京 $xaxuZA$

摘要 在绿色食品基地南口农场利用农牧业废弃物(牛粪和麦秸)作为原料,根据作物营养特性和堆料中营养成分以及堆肥过程中微生物对 $I\nu \vartheta$ 比的需要进行了高温堆肥。对不同通气方式、秸秆切碎程度对堆肥腐殖质含量及组成、氮素含量、重金属含量、化学组成和氧利用特点以及堆制周期的影响进行了研究。结果表明 I 切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆肥高温期时间最短,为 $xA\sim xB\rho$,堆腐时间为 $yB\sim z\nu\rho$ 左右;切碎秸秆和不切碎秸秆不通气堆肥高温期时间持续 $yB\sim yE\rho$,堆腐时间需 $zB\sim Ax\rho$ 。切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆制有利于堆肥物料的分解和转化。各堆肥处理腐植酸含量均呈下降趋势,而腐殖化指数(ΦX)、腐殖化率($\Phi\rho$)随着堆肥的进行呈增加趋势,其中以切碎秸秆的鼓风通气和通气沟通气堆制最明显。随着堆肥的进行,富里酸($T\Xi$)含量呈下降趋势,而胡敏酸含量(ΦE)呈增加趋势, $\Phi E - I\nu T\Xi - I$ 比以切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆制增加最明显。堆肥过程中,胡敏酸的 $\Sigma x\nu\Sigma r$ 比值则呈降低趋势,腐熟时胡敏酸 $\Sigma x\nu\Sigma r$ 比值在 xy 左右,其芳构化和缩合度很低,腐植酸的活性很强,分子量很小。

关键词 堆肥 通气方式 秸秆切碎程度 腐殖化作用

在绿色食品生产过程中,由于要求以土壤自身的肥力为前提,利用农家肥或有机肥代替化肥(主要是 ϑ 素化肥),尤其 EE 级绿色食品更是如此 ^{$\theta xy \cdot A \cdot xT^x$} 。以达充分利用作物—土壤—环境之间的最佳物质循环和生态平衡,减少化学物质投入和回归自然的目的。

绿色食品的生产基地往往属于单一型的生产企业,如北京市南口农场主要是果树生产基地。现有的可供制造有机肥的原料也非常有限,必须外购碳源(秸秆)或添加 ϑ 源才能满足制肥需要。利用高温堆肥方法对农牧业废弃物进行无害化、资源化处理是绿色食品基地大规模生产有机肥的重要途径。而采用什么类型的堆肥材料、材料的颗粒大小(或粉碎程度)以及堆制方式与堆肥时间、堆肥效果有直接关系 ^{$\theta x \sim xw, xx, xA, xD^x$} ,同时也与用户的

经济效益有直接关系。

x 材料和方法

xw 堆制方案

为了比较不同通气方式(鼓风通气、通气沟通气和不通气)、秸秆切碎和不切碎的堆制效果,设置A种堆制处理,即鼓风通气+秸秆切碎,通气沟通气+秸秆切碎,不通气+秸秆切碎和不通气+秸秆不切碎,以比较不同通气方式和秸秆切碎与不切碎对堆肥腐殖质含量及组成、 ϑ 素含量、重金属含量、化学组成和氧利用特点以及堆制周期的影响。

xty 材料和比例

试验在农大试验场进行,材料为南口牛

粪和麦秸，切碎麦秆是利用切草机将麦秆切成 $B \sim E\pi_1$ 的小段，不切碎麦秆长度为 $Bv \sim \Delta v\pi_1$ 。用少量尿素调节 $Ikv\vartheta$ 和 $\vartheta v\phi_y\phi_B$ 比，根据计算秸秆、牛粪和尿素比例为 H 麦秸：牛粪（湿）：尿素 $KAz : A\Gamma : x$ 。其中牛粪含水量为 $xw\%$ ，各个堆肥处理材料比例相同。供试材料的性质见表 x 所示。

表x 堆肥材料养分含量

材料	有机质 $o\Pi\%$	全氮 $o\%$	全磷 $o\phi_y\phi_B\%$	全钾 $o\Omega_y\phi\%$	碳氮比 Π/ϑ	含水量 $o\%$	$I\bar{K}$ $o\%$	\bar{S} $o\%$	材料来源
牛粪	$EuAx$	$w\kappa\gamma w$	$w\eta\beta y$	$w\bar{E}\kappa v A$	$y\Gamma$	$AB\bar{v}\Gamma$	$x\bar{v}\bar{K}\Gamma$	$w\eta\gamma\Gamma x$	南口农场
麦秸	$A\Delta v B$	$w\bar{v}\bar{K}av$	$w\eta\gamma av$	$x\eta\gamma v E$	ZB	$A\bar{v}B$	$w\kappa\bar{E}B\bar{v}$	$w\kappa\alpha x$	南口农场

肥场上，堆高 $x\eta y \sim x\bar{v}B\pi_1$ 。当堆肥温达到 $BB \sim \Delta B$ °C 的高温期，每隔 $z \sim A\rho$ 倒一次肥堆。期间水分偏低时应及时补充水分，使肥堆水分始终保持在 $\Gamma w\% \sim \Gamma B\%$ 。不通风堆肥是无通风沟亦不人工通气，将堆料按比例混好后堆成垛，其它同通风沟方法。鼓风通气堆肥，是将 Γ 根通气管（管上分布有通气小孔 $\phi_y\pi_1$ ）分两组，埋放在堆垛的下层和上层，每层 z 根，堆垛堆好后，用胶管把通气管和鼓风机连好，每天早 $EHAw - EH\bar{w}$ 供气 $z w_1 \chi_2$ ，相当于每分钟通风量为 $w\eta y BA_1 \bar{v}_1 \bar{v}$ （堆垛体积为 $x\bar{v}B_1 \bar{v}$ ，每次通风量为 $xx u A\Gamma_1 \bar{v}$ ，每次 $z w_1 \chi_2$ ），略高于机械化堆肥要求的强制通风量 $w\kappa\bar{v}B \sim w\eta y_1 \bar{v} v o_1 \chi_2 \cdot \pi_1 \bar{v} \rho$ 。

堆肥期间每天测定堆温，按初期（开始）、升温期、高温期、降温期和腐熟期取样，测定 Π 、 Φ 、 ϑ 、腐殖质及组成、重金属（ Φv 、 $I\bar{K}$ 、 ϕo 、 $\Pi\rho$ ）、灰分等。

x uA 测试项目和方法

每个堆肥处理共采样 B 次，分别为原料混合样、升温期样、高温期样、降温期样和腐熟期样。每日测定堆体温度和气温变化。

有机质采用重铬酸钾法。全磷采用钒钼黄比色法。全钾采用火焰光度计法。铵态氮采用 $w\kappa\bar{v}B_1 \bar{v} o(\vartheta \Phi_A)_y s \phi_A$ 振荡提取，直接蒸馏法。硝态氮采用 $w\kappa\bar{v}B_1 \bar{v} o(\vartheta \Phi_A)_y s \phi_A$ 振荡提取， $T\sigma s \phi_A - \eta_2$ 粉还原，直接蒸馏法

x uE 堆肥方法

通气沟堆肥方法是在一块平坦地块上挖 $y w\pi_1 \times y w\pi_1$ “井”字形通气沟，沟间距为 $\Gamma v\pi_1$ ，其上用少量树枝或秸秆覆盖，在井字交叉处竖立一束用秸秆或树枝捆成的通气装置。按比例将已切碎（ $B \sim x w\pi_1$ ）秸秆和粪便混匀并调至 $\Gamma w\%$ 水分后堆积在备好的积

测定。全氮为开氏蒸馏法。腐殖质组成和腐植酸碳为 $w\kappa v_1 \bar{v} o$ 焦磷酸钠和 $w\kappa v_1 \bar{v} o$ 氢氧化钠提取，重铬酸钾氧化法。 $\Sigma v \Sigma \Gamma$ 采用分光光度计法。

y 结果和讨论

y uA 对堆肥温度和堆肥周期的影响

图 $x - \xi$ 、 o 、 π 、 ρ 分别为切碎秆的鼓风通气、通风沟通气和不通气堆肥和不切碎秸秆的不通气堆肥 A 个处理的堆肥温度变化曲线，从曲线变化结果可以看出， A 个堆肥处理温度曲线变化相近，均有升温期、高温期、降温期和腐熟期几个阶段。堆肥各层温度均是中层温度最高，其次是上层，下层温度最低。各堆肥处理高温期持续时间是不同的，因此，其腐熟的时间不一。切碎秸秆的鼓风通气高温期时间最短，为 $x A \sim x B\rho$ ，通风沟通气堆肥为 $x B \sim x \Delta\rho$ ，二者相差不大。而切碎秸秆不通气堆肥高温期持续 $y B \sim y E\rho$ ，不切碎秸秆不通气堆肥与之相近。与之相对应，鼓风通气堆肥和通风沟通气的堆肥堆腐周期为 $y B \sim z w\rho$ ，而依靠倒堆的不通气堆肥需 $z B \sim A w$ 余天。

y uB 对 Π 、 ϑ 和 $Iv\vartheta$ 比的影响

表 y 为不同堆肥方式在不同堆制阶段碳、氮和碳氮比的变化。从表 B 结果可以看出，随着堆制时间的延长，全碳、全氮含量均

图x 不同堆肥处理温度变化

ξ u 切碎秸秆机械通风 o u 切碎秸秆通气沟通风
π u 切碎秸秆不通风 ρ u 不切碎秸秆不通风

表y 不同堆肥方式不同堆肥时期Π,ϑ 及Πvϑ 比变化

处 理	切碎秸秆堆肥									不切碎秸秆		
	机械通气			通气沟通气			不通气			不通气堆肥		
	有机质 Π %	全氮 %	Π/ϑ									
堆肥时期 初期	Ar uΔA	x uΔΓz	yEuBc									
升温期	zEuΔw	x uArB	yΔwA	zEuΔΔ	x uγΓx	z wuBc	zEuAZ	x uγEy	z wuwy	zEuAE	wuZEx	z Zuyz
高温期	zz wB	x uZz	yz uEw	zz uBy	x uZΔ	yz uZZ	zz uBy	x uγzx	yΔuyz	zΓuyZ	x uArA	z y uBΓ
降温期	yZuZE	x uAyB	y x uA	z x uεw	x uArB	yy uay	z y uεB	x uγyy	yΓuεx	z y uEZ	x uγBc	yΓuyZ
腐熟期	yEuZy	x uEΓ	y wuEΔ	z wuεw	x uAE	yy uAE	z x uZΔ	x uγxy	yΓuεE	z x uEw	x uγyz	yΓuεx

呈下降趋势,下降的幅度前者比后者要大,因此Πvϑ 比随着堆制时间延长也呈降低趋势,其中切碎秸秆鼓风通气堆制Πv ϑ 比下降幅度最大,自开始堆制至腐熟时Πvϑ 比下降了yΓuE% s 切碎秸秆通气沟堆制下降了yxuy %s 而切碎秸秆不通风堆制和不切碎秸秆不通风堆制的只分别下降了ΔuBA% 和EuΔΓ%。因此,切碎秸秆鼓风通气和通气堆制有利于有机残体物料的迅速分解,转化成腐熟的有机肥。

y uε 腐殖质及其组成和性质的变化

在有机碳分解转化过程中,一方面碳素物质在急速分解,另一方面分解产物在微生物作用下又重新合成新腐植酸物质。腐植酸物质含量是堆肥腐熟程度的重要指标之一。从表z 不同堆制方式在不同堆制阶段腐植酸含量、腐殖化指数(ΦXK (ΦΞ+TΞ) × xαα α Π) 可以看出,各处理腐植酸含量随堆制的过程均呈下降趋势,ΦX 随着堆肥的进行呈增加趋势,尤以切碎秸秆的鼓风通气和通气沟通气堆制最明显,切碎秸秆不通风堆制增加较小,而不切碎秸秆不通风堆制反而

表z 不同堆肥方式腐殖质含量的变化

处 理	切碎秸秆						不切碎秸秆			
	鼓风通气堆肥			通气沟堆肥			不通气堆肥			
	有机质 o II %p	腐植酸 o II %p	腐殖化指 数ΦX ₀ %p	有机质 o II %p	腐植酸 o II %p	腐殖化指 数ΦX ₀ %p	有机质 o II %p	腐植酸 o II %p	腐殖化指 数ΦX ₀ %p	
堆肥时期	初期	Ar uΔA	xx iγx	y Γ iΔΓ	Ar uΔA	xx iγx	y Γ iΔΓ	Ar uΔA	xx iγx	y Γ iΔΓ
	升温期	zEuAκ	xw uBZ	y Δ uBE	zEuAΔ	xw uΔΓ	y Γ uAB	zEuAZ	xw uBE	y Δ uAZ
	高温期	zz uAB	ZuAΔ	yEuBΔ	zz uBy	Zuκy	y Γ iZx	zz uBy	ZuγA	y Δ uBΔ
	降温期	yZuZE	ZuA	z w uAZ	z x uκw	EuBA	y Δ iγE	z y uAB	EuBZ	y Γ iΔy
	腐熟期	yEuZy	EuZw	z w uΔΔ	z w uκp	EuZy	yZuAA	z x uZΔ	EuEA	y Δ uTB

略有下降，说明采用切碎秸秆通气沟堆制对腐植酸形成有显著的效果。

腐植酸是由胡敏酸和富里酸组成的，其各组分含量的相对比例大小可以表明腐植酸的优劣^{2y Γx}。表A 结果为不同堆制方式在不同堆制阶段胡敏酸(ΦΞ)、ΦΞ 占腐植酸总量(ΦΞ+TΞ)的百分比o Φ_Q)、富里酸(TΞ)及其比值(ΦΞv TΞ)等几项指标的变化。从表A 可以看出，不同堆制处理胡敏酸含量随着堆肥的进行呈明显的增加趋势，并且Φ_Q 指标也随着堆肥的进行呈轻微的增加，说明堆肥腐殖化作用非常明显。其中尤以切碎秸秆的鼓风通气和通气沟堆制Φ_Q 增加最明显，切碎秸秆不通气和未切碎秸秆不通气堆制Φ_Q 增加不显著。堆肥过程中，富里酸含量呈下降趋势，因此ΦΞv TΞ 比值随着堆制进行呈增加趋势。由初期混合物料的ΦΞv TΞ 为x uA，至腐熟期鼓风通气堆肥可达y uE，通气沟堆制也达x uZE，而不通气堆制分别为x uAE 和x uA，说明秸秆切碎的鼓风通

气堆制和通气沟堆制有利于腐植酸和胡敏酸的生成，其腐植酸品质优于秸秆不切碎不通气堆制。

Σ_{Δv} Σ_r 比值通常作为胡敏酸品质或缩合度、芳构化程度的重要指标，Σ_{Δv} Σ_r 比值愈低，表明腐殖质的缩合度和芳构化程度愈高，平均存留时间愈长^{0x v Zκ}。表B 结果为不同堆制处理不同堆制阶段胡敏酸Σ_{Δv} Σ_r 比值的变化的。结果表明，随着堆制时间的延长，胡敏酸Σ_{Δv} Σ_r 比值呈降低趋势，降低幅度最大是鼓风通气堆制，其它各处理之间差异

表B 不同通气方式对胡敏酸光学特性Σ_{Δv} Σ_r的影响

处理	鼓风通气堆肥	通过气沟堆肥	不通气堆肥	未切碎秸秆不通气堆肥
初期	y y uA o x Δ uAκp N	y y uκw o x Δ uAκp	y y uκw o x Δ uAκp	y y uκw o x Δ uAκp
升温期	x Γ uAA	x Δ uκZ	x EuΓw	x ZiBκv
高温期	x y uκκ	x y uΔT	x AuEB	x BiZκ
降温期	x y uκΓ	x y uΔy	x y uκw	x y uκΔ
腐熟期	xx uEZ	x y uκE	x y uκE	x y uκB

N 括号外数字为牛粪中胡敏酸Σ_{Δv} Σ_r 比值，括号内数字为秸秆中胡敏酸Σ_{Δv} Σ_r 比值

表A 不同堆肥方式腐植酸组成的变化

处理	切碎秸秆堆肥						不切碎秸秆		
	鼓风通气			通气沟通气			不通气		
	ΦΞ o II %p	TΞ o II %p	ΦΞ/ TΞ	ΦΞ o II %p	TΞ o II %p	ΦΞ/ TΞ	ΦΞ o II %p	TΞ o II %p	ΦΞ/ TΞ
初期	BiZΔ/Bκ uκ *	BiγA	x uA	BiZΔ/Bκ uκ	BiγA	x uA	BiZΔ/Bκ uκ	BiγA	x uA
升温期	BiΔΓ/BB uκ	AiΔκ	x iγA	BiΔκ/BA iE	AiΔB	x iγx	BiΔB/BA uκ	AiΔκ	x uZ
高温期	BiΔΔ/Γw uZ	z uκw	x iBΓ	BiΔΔ/BΔ uκ	z uEB	x uA	BiΔA/Γw uκ	z uκw	x iBκv
降温期	Γ uΔΓ/AT uκ	z uκE	x iZΔ	Bi uΔΓ/AT uκ	z uκE	x iΔΔ	Ai uκw/BA iΔ	z uEZ	x iγx
腐熟期	Γ uκw/TE uB	y iΔu	y uκE	BiZκ/AT uB	y iZZ	x iZE	BiγE/BZ iΔ	z uBΓ	x uE

* H分子数据为ΦΞ 含量,分母为ΦΞ 占腐植酸总量的百分比

不明显。腐熟期胡敏酸 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值一般在 xy 左右,而一般耕地层土壤胡敏酸 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值为 $z \sim A$ 左右,因此,尽管随着堆制的进行,堆肥胡敏酸 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值呈下降趋势,但其芳构化和缩合度仍很低,这从另一方面表明堆肥腐植酸的活性很强,分子量还很小^[2,3]。

z 结 论

切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆肥高温期时间最短,为 $xA \sim xB\rho$,总堆腐时间为 $yB \sim z\tau\omega\rho$ 左右,切碎秸秆和不切碎秸秆不透气堆肥高温期时间持续 $yB \sim yE\rho$,堆腐时间需 $zB \sim Axv$ 余天。

切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆制有利于有机残体物料的迅速分解,转化成腐熟的有机肥。各处理腐植酸含量均呈下降趋势,而 ΦX 、 ΦQ 随着堆肥的进行呈增加趋势,其中以切碎秸秆的鼓风通气和通气沟通气堆制最明显。随着堆肥的进行,富里酸含量呈下降趋势,而胡敏酸含量呈增加趋势, $\Phi \Xi v$ $T \Xi$ 比呈增加趋势,这种变化以切碎秸秆鼓风通气和通气沟通气堆制最明显。堆肥过程中,胡敏酸的 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值则呈降低趋势,腐熟时胡敏酸 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值在 xy 左右,远较土壤中胡敏酸的 $\Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma}$ 比值高(约为 $z \sim A$),芳构化和缩合度仍很低,表明堆肥腐植酸的活性很强,分子量还很小。

参 考 文 献

x $O \xi \pi \xi \in \alpha s T^{30227} \rho^{0} T \delta \cdot 30 \lambda \rho \chi \rho s \in u \in \chi^{2} s^{0} \xi^{0} \mu$
 $1 \xi^{5} \chi^{2} 2 \xi^{2} \rho \varphi^{9} 1 \chi^{2} \xi^{5} \chi^{2} 2 4 \xi^{5} \varphi 1 \xi^{37} \chi^{2} \pi^{3} 1 4378 \chi^{2} v$
 $463 \pi s^{7} \sigma^{7} \xi 4 10 \chi \rho^{83} \pi^{38832} 1 \xi^{78} \sigma^{7} i \mathcal{N} T \sigma^{0} 1 \sigma^{28} O \xi^{2} \mu$
 $\sigma^{2} v s x Z Z y \Theta \Delta v y p H \Delta Z \sim x E A$

y $P \rho \varphi^{2} \zeta s s \sigma^{2} \sigma^{7} \chi \vartheta s \delta \cdot s \pi \rho^{2} \chi^{0} s^{0} \in i \mathcal{X}^{0} \tau^{36} 1 \xi^{5} \chi^{2} 2 463 \mu$
 $0 \chi \rho \sigma^{32} \varphi^{9} 1 \chi \tau^{79078} \xi^{2} \pi s^{7} 0 s \Sigma_{AV} \Sigma_{\Gamma} 6 \xi^{5} \chi^{2} 7 u w^{3} \chi^{0} s \pi \chi$
 $s^{3} \pi \Xi 1 s^{0} \Psi s x Z \Delta \Theta \lambda H B y \sim z B E$

z $P \xi^{5} \xi^{88} \xi \Pi \in s T^{30} \chi \vartheta \vartheta \xi^{7388} \chi \delta \cdot \vartheta s s \sigma^{3} \chi u P \rho \xi^{2} v \sigma^{7}$
 $\chi^{2} 36 v \xi^{2} \chi \tau 1 \xi^{88} \sigma^{0} \rho^{90} \chi^{2} v 78 \xi^{0} \chi \chi \xi^{5} \chi^{2} 2 3 \tau \pi^{3} 1 4378 \tau^{03} 1$
 $192 \chi \rho \xi^{0} \xi^{0} 730 \chi \rho 1 \xi^{78} \sigma^{7} u O \chi^{6} \sigma^{396} \pi \alpha \sigma \varphi^{2303} v s$
 $x Z z \Theta \lambda s x A x \sim x A B$

A $\Upsilon \xi^{0} \pi \xi \Pi \alpha s \Phi \sigma^{0} 2 \xi^{2} \rho \sigma^{7} T s \Pi^{0} 78 \xi^{2} O \Pi \sigma \pi \xi^{2} 8 \chi s^{0} \xi^{0} u$
 $\Phi s \rho^{030} \xi^{2} \sigma^{7} \chi^{2} 8 \varphi \sigma^{360} \xi^{2} \chi \tau 1 \xi^{88} \sigma^{0} \tau^{0} \xi^{78} \chi^{2} 2 7$

$3 \tau 7 \sigma 1 \xi^{2} v \sigma^{709} \rho v s H \rho \varphi \xi^{2} v \sigma^{7} 1 \chi \varphi \pi^{3} 1 4378 \chi^{2} v u O \chi^{0} \sigma^{0} \mu$
 $7390 \pi s \sigma \rho \varphi^{2303} v s x Z z x \Theta \Delta s \Delta \sim B y$

B $T \xi^{0} s \Omega \rho s s \varphi \sigma^{0} 1 \xi^{2} \Omega s \xi^{2} \rho O \chi \rho \sigma^{0} \sigma^{832} s \Xi \Psi u \Xi$
 $0 \sigma^{0} \chi \sigma 1 3 \tau \pi^{3} 1 4378 \chi^{2} v u \rho \xi^{0} \sigma^{8} X u \in \chi^{0} 3 o \chi^{0} 3 v s \xi^{2} \rho o \chi^{2} \mu$
 $\pi \varphi \sigma 1 \chi^{863} s \vartheta^{0} \pi \sigma^{7} O \chi^{2} \pi \varphi \sigma 1 s x Z \Delta x \Theta H y \sim z \Gamma$

Γ $\Phi \xi^{1} 1 39 \rho \xi^{2} \Upsilon \Phi \Phi \delta \cdot \Xi \rho \xi^{17} \delta \Xi u \alpha \varphi \sigma \rho \pi^{3} 1 43 \mu$
 $1 \chi^{2} \chi^{2} 2 s \rho^{9} 1 \chi^{2} \chi^{2} \xi^{2} \xi^{2} \xi^{2} \rho \tau \xi^{2} s 3 \tau 2 \chi^{0} 63 v \sigma^{2} \rho^{0} 6 \chi^{2} v 8 \varphi \sigma$
 $\pi^{3} 1 4378 \chi^{2} v 3 \tau 73 1 \sigma 40 \xi^{28} 6 \sigma^{7} \chi \rho^{0} s i \mathcal{X}^{0} I O \sigma^{830} \rho \chi \in \rho \sigma s$
 $T \sigma^{0} \xi^{28} \chi \in \vartheta s \partial n \varphi \sigma^{0} 1 \chi \sigma s \vartheta s \delta \cdot \eta^{9} \pi^{3} 2 \chi T o \sigma \rho u \vartheta$
 $\Pi^{0} 1 4378 I \Phi^{0} 3 \rho^{9} \pi s \chi^{2} 2 \chi^{9} \xi^{0} \chi^{0} s \xi^{2} \rho \beta^{7} \sigma s \Sigma^{7} \sigma \vartheta^{0} \Xi 1 4 \mu$
 $0 \chi \rho s \pi \lambda \sigma^{2} \pi s \sigma^{2} 2 \rho^{3} 2 \xi^{2} \rho \vartheta s 1 \zeta^{36} u \omega Z E \Gamma H y A B \sim y B z$

Δ $\Phi \xi^{0} \chi^{2} 3 2 \Sigma \eta s \xi^{2} \rho \rho \chi \rho \varphi \xi^{0} \rho \alpha \partial u X^{79} \sigma^{7} \chi^{2} 6 \chi^{0} \omega$
 $\xi^{27} \sigma^{7} 1 \sigma^{28} 3 \tau \pi^{3} 1 4378 \tau^{03} 1 192 \chi \rho \xi^{0} \xi^{0} 730 \chi \rho 1 \xi^{78} \sigma H$
 $\phi \pi \tau^{1} \xi^{5} \chi^{2} 2 \xi^{0} \varphi \sigma \xi^{0} \varphi \xi^{2} \rho 1 \tau \xi^{0} \sigma^{8} s 490 \chi \rho \varphi \sigma \xi^{0} \varphi s \xi^{2} \rho$
 $\sigma^{20} \chi^{2} 3 2 1 \sigma^{28} \xi^{0} \pi^{3} 2 \pi \sigma^{27} u O \chi^{1} \xi^{77} O \chi^{0} \sigma^{20} v s x Z Z y \Theta H$
 $x y \Delta \sim x A z$

E $\rho \chi \tau \xi^{0} \rho \chi \rho s \partial \sigma^{7} \chi - \in \chi^{2} \chi \rho s \vartheta \sigma^{0} \xi \Xi s \xi^{2} \rho o \sigma^{0} 330 \rho \chi \rho \sigma$
 $\in u \Sigma^{0} \xi^{0} \xi^{5} \chi^{2} 2 3 \tau \pi^{3} 1 4378 1 \xi^{89} \chi^{0} s 0 s 1 \sigma \xi^{27} 3 \tau \pi \varphi \sigma \mu$
 $1 \chi \rho^{0} s \xi^{2} \rho 1 \chi \rho^{0} 3 o \chi^{0} s \xi^{2} \xi^{0} 7 \sigma^{7} u \delta \xi^{78} \sigma \in \xi^{2} \xi^{0} v s 1 \sigma^{28}$
 $\xi^{2} \rho \rho \sigma^{2} \sigma^{2} \pi \varphi s x Z E \Gamma \Theta H E \Delta \sim z \Gamma$

Z $s^{9} v \xi \varphi \xi^{0} \xi \Omega \delta \cdot X^{3} \omega \Xi u \Pi^{0} 1 437 \chi^{2} \chi^{2} 2 \xi^{2} \xi^{0} 3 \chi^{2} 3 \tau$
 $\varphi^{9} 197 \xi^{2} \rho \pi \varphi \xi^{0} \xi \pi \sigma^{0} \chi \xi^{5} \chi^{2} 2 3 \tau \varphi^{9} 1 \chi \tau^{308} \xi \chi^{2} \sigma \tau^{03} 1$
 $\pi \xi^{0} 6 \sigma^{0} 7 \sigma \pi^{3} 1 4378 u w^{3} \chi^{0} s \pi \lambda \sigma^{2} \pi \vartheta \rho \xi^{28} \vartheta^{980} \chi^{2} 2 s$
 $x Z E \Theta \Delta y p H y x \sim y y A$

xw 四川省荣昌畜牧兽医学学校主编 u 家畜传染病及微生物学 u 北京:农业出版社, xZΔE

xx 陈世和,张所明 u 城市垃圾堆肥原理与工艺 u 上海H复旦大学出版社, xZZvIEB

xy 李国学,张祖锡,白 璩 u 高温堆肥和沤肥碳、氮转化和杀灭病原菌的比较研究 u 北京农业大学学报, xZZBΘ yx(z) H y E Γ ~ y Z v

xz 袁 从等 u 稻草高温堆肥的应用技术 u 土壤通报, xZEE, xZ A) H Δ ~ x E v

xA 武继含等 u 苹果 $\vartheta \rho \Omega$ 肥用量经济效益的研究 u 中国果树, xZZx Θ H ~ x w

xB 贾晓葵 u 有机废弃物的农业利用 u 农业环境保护, xZZy Θ(xw) I Z A ~ Z Γ

xΓ 蔡建成 u 堆肥工程与堆肥工厂 u 北京H机械工业出版社, xZZv

作者简介

李国学,男, zΓ 岁,北京农业大学硕士毕业,现任中国农业大学资源和环境学院副教授,再生资源处理与利用研究中心主任, xZZB 年 B 月—xZZI 年 B 月香港浸会大学生物系访问学者。承担本科生“固体废弃物处理与处置”和“环境土壤学”,研究生“废弃物处理与资源化的技术与方法”等课程教学。已承担和正在研究的项目有“生活污水人工土地处理技术的研究与开发”等多项国家和省部级以及自然科学基金课题。曾获农业部科技进步三等奖。出版的著作 y 本,发表的科技论文 zτw 篇。